مروری بر سیستم‌ها و شاخص‌های رتبه‌بندی فرودگاه‌های سبز و ارائه چارچوب بومی IGARS برای ارزیابی پایداری فرودگاه‌های ایران

مقاله علمی – پژوهشی

پویان ایار*، استادیار، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران
حسین توکلی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران
صدرا سقائی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران
سپهر عبدی پور وسطی، دانشجوی دکتری، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم‌وصنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: *ayar@iust.ac.ir*

دریافت: ۱٤۰٤/۰٤/۱۱– پذیرش: ۱٤۰٤/۰۸/۲۰
صفحه ۱۲٦-۱۰۱

چکیده

در سال‌های اخیر، توجه فزاینده به ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی فعالیت‌های فرودگاهی، منجر به شکل‌گیری و توسعه مفهوم «فرودگاه سبز» در سطح بین‌المللی شده است. این مقاله با هدف انجام یک مرور جامع بر ادبیات مربوط به فرودگاه‌های سبز و تحلیل انتقادی سیستم‌های رتبه‌بندی پایداری نظیر LEED، BREEAM، CASBEE، ACA، GAGCC و SBTool تدوین شده است. در این راستا، رویکردهای ارزیابی، ساختار امتیازدهی، دامنه شاخص‌ها، مزایا، محدودیت‌ها و قابلیت بومی سازی هر سیستم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سپس، شاخص‌های کلیدی پایداری در چهار رکن اصلی (زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی و عملیاتی) تحلیل شده و الزامات بومی سازی آن‌ها با توجه به شرایط اقلیمی، نهادی و زیر ساختی ایران تبیین گردیده است. در ادامه، یک چارچوب بومی با عنوان IGARS طراحی شده که با بهره‌گیری از تجربیات جهانی و انطباق با ویژگی‌های ملی، یک نظام امتیازدهی چندبُعدی و دقیق برای ارزیابی عملکرد فرودگاه‌ها از منظر پایداری را ارائه می‌دهد. سیستم IGARS از مجموعه‌ای از امتیازهای اصلی تشکیل شده که بر پایه شاخص‌های متنوعی در ابعاد مختلف پایداری استوار است و همچنین شامل امتیازهای تشویقی برای نوآوری و توجه به ویژگی‌های منطقه‌ای می‌باشد. این پژوهش ضمن پر کردن خلأ مطالعات مروری در حوزه فرودگاه‌های سبز در ایران، مدلی بومی، کاربردی و راهبردی برای توسعه زیرساخت‌های پایدار هوانوردی پیشنهاد می‌دهد و می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری علمی برای مدیران فرودگاهی، سیاست‌گذاران و پژوهشگران این حوزه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: فرودگاه سبز، سیستم‌های رتبه‌بندی پایداری، شاخص‌های پایداری فرودگاهی، IGARS، ارزیابی زیست محیطی

۱- مقدمه

فرودگاه‌ها از عناصر کلیدی زیرساخت‌های حمل‌ونقل هر کشور به‌شمار می‌روند و نقش مهمی در جابه‌جایی بین‌المللی و داخلی مسافران، بار و کالا ایفا می‌کنند. با این حال، فراتر از کارکردهای حمل‌ونقلی، این تأسیسات بزرگ تأثیرات زیست‌محیطی قابل‌توجهی دارند که در بسیاری از کشورها، از جمله ایران، به صورت مستقیم بر اکوسیستم‌ها و سلامت عمومی جوامع اطراف تأثیر می‌گذارد. در فرودگاه‌های سنتی، مشکلاتی نظیر آلودگی هوا، آلودگی صوتی، مصرف بی‌رویه منابع تجدیدناپذیر،

تولید پسماندهای خطرناک و تخریب زیستگاه‌های طبیعی مشاهده می‌شود. همچنین، این فرودگاه‌ها به‌واسطه میزان بالای مصرف انرژی و آب و انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای، سهم قابل‌توجهی در تسریع روند تغییرات اقلیمی دارند (Culberson, 2011; Gómez Comendador, Arnaldo Valdés, & Lisker, 2019; Luther, 2007). در پاسخ به این چالش‌ها، مفهوم «فرودگاه سبز» به‌عنوان رویکردی نوین و پایدار برای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از فرودگاه‌ها شکل گرفته است. فرودگاه سبز تأسیساتی است که در تمام مراحل عمر خود (از طراحی تا بهره‌برداری) اصول حفاظت محیط‌زیست، بهره‌وری منابع، ارتقاء کیفیت زندگی انسانی و تعامل مثبت با جامعه محلی را در اولویت قرار می‌دهد (ICAO); Administration; Sun, Pan, & Hu, 2021; Zarshenas, 2024). استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی عملکرد انرژی در ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها، طراحی مسیرهای پروازی با حداقل آلایندگی صوتی، مدیریت پایدار منابع آب و مشارکت جوامع محلی از جمله رویکردهای کلیدی در توسعه فرودگاه‌های سبز به شمار می‌روند (Greer, Rakas, & Horvath, 2020; Sumathi, Phanendra, & Teja, 2018). از این رو، نهاد های بین‌المللی همچون سازمان بین‌المللی هوانوردی غیرنظامی (ICAO[1]) و اداره هوانوردی فدرال آمریکا (FAA[2])، استانداردها و دستورالعمل‌هایی جهت پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی فرودگاه‌ها ارائه کرده‌اند (ICAO); Administration).

در ایران، ضرورت گذار از فرودگاه‌های سنتی به فرودگاه‌های سبز نه‌تنها به دلایل زیست‌محیطی بلکه به‌واسطه ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و بین‌المللی نیز مورد توجه قرار گرفته است. کشور با بحران‌هایی مانند آلودگی شدید هوا، کمبود منابع آب، تخریب تنوع زیستی و افزایش مصرف انرژی مواجه است که فرودگاه‌های سبز می‌توانند در کاهش این بحران‌ها نقشی مؤثر ایفا کنند. افزون بر آن، رشد جمعیت، افزایش تقاضا برای سفرهای هوایی و نیاز به ارتقاء کیفیت خدمات فرودگاهی ایجاب می‌کند تا توسعه این زیرساخت‌ها بر پایه اصول پایداری صورت گیرد. اجرای راهکارهای زیست‌پایدار در فرودگاه‌ها می‌تواند موجب رضایت کاربران فرودگاه، جلوگیری از تشدید و کاهش چالش‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط با فرودگاه، تقویت جایگاه بین‌المللی کشور و تحقق مسئولیت‌های جهانی ایران در قبال محیط‌زیست شود (Abdel-Gayed et al., 2023; Bamidele et al., 2023; Mokhtari & Moradi, 2021; Pishdar et al., 2019; Wang et al., 2024).

با وجود این اهمیت، بررسی منابع موجود در زبان فارسی نشان می‌دهد که مفهوم فرودگاه سبز، علی‌رغم استفاده رایج در اسناد بین‌المللی، هنوز در ادبیات پژوهشی داخلی ایران جایگاه شایسته‌ای نیافته و مطالعات جامع و منسجم در این زمینه بسیار محدود است. اغلب پژوهش‌های موجود به شکل مطالعات موردی غیرمنسجم و پراکنده منتشر شده‌اند که فاقد تحلیل تطبیقی و چارچوب‌های سیستماتیک هستند. از این‌رو، این پژوهش با هدف پر کردن این خلأ علمی، در قالب یک مقاله مروری به تحلیل، دسته‌بندی و ارزیابی سیستم‌های رتبه‌بندی بین‌المللی، شاخص های کلیدی پایداری و رویکرد های بومی‌سازی‌شده برای توسعه فرودگاه‌های سبز در ایران می‌پردازد. در این مقاله، تمرکز بر تحلیل ساختاری شاخص‌های ارزیابی پایداری، بررسی سیستم‌های رتبه‌بندی جهانی از قبیل LEED[3]، BREEAM[4]، CASBEE[5]، ACA[6] و مقایسه آنها صورت می‌گیرد. همچنین، با توجه به شرایط اقلیمی و منطقه‌ای ایران، رویکرد بومی‌سازی و وزن‌دهی شاخص‌ها برای طراحی یک مدل پیشنهادی در اولویت قرار گرفته است. این پژوهش بر آن است که ضمن معرفی چارچوب‌های عملی برای توسعه فرودگاه‌های پایدار در ایران، مسیر روشنی برای سیاست‌گذاران، مدیران فرودگاهی و پژوهشگران حوزه حمل‌ونقل و محیط‌زیست ترسیم کند.

۲- سیستم‌های رتبه‌بندی فرودگاه‌های سبز

امروزه برای ارزیابی و بهبود پایداری ساختمان‌ها و زیر ساخت‌ها، چندین سیستم رتبه‌بندی توسعه یافته است که برخی از آن ها در پروژه های فرود گاهی نیز به کار گرفته می شوند. در بین روش‌های مختلفی که به‌منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی زیرساخت‌های مختلف به کار برده شده‌اند، شش

روش ارزیابی زیست‌محیطی که در محیط فرودگاهی به کار گرفته شده‌اند عبارت‌اند از BREEAM، LEED، GBTool[۷] یا SBTool[۸]، ACA، CASBEE، GAAGC[۹]، که در ادامه مرور می‌شوند. هر سیستم از نظر تاریخچه شکل‌گیری، ساختار امتیازدهی، معیارهای ارزیابی، سطوح گواهی، مزایا و محدودیت‌ها و نمونه‌های اجرایی در فرودگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- سیستم BREEAM

سیستم BREEAM در سال ۱۹۹۰ توسط مؤسسه تحقیقات ساختمان در بریتانیا به‌عنوان نخستین سیستم ارزیابی ساختمان‌های سبز معرفی شد (Kacar et al., 2023). این سیستم با تعریف معیارهای گوناگون، سطح پایداری ساختمان‌ها را می‌سنجد و در نهایت رتبه‌ای از قابل قبول، خوب، بسیار خوب، عالی تا برجسته به پروژه اختصاص می‌دهد. BREEAM طیف وسیعی از موضوعات پایداری را از جمله مصرف انرژی و آب، کیفیت محیط داخلی (سلامت و آسایش)، آلودگی (انتشار گازها و اثرات زیست‌محیطی)، حمل‌ونقل پایدار، مواد و منابع ساختمانی، مدیریت پسماند، استفاده از زمین و اکولوژی و فرآیندهای مدیریت و نوآوری را در بر می‌گیرد (Boca Santa et al., 2020; certification; Nilashi et al., 2015).

سیستم BREEAM یک سیستم ارزیابی جامع برای پایداری پروژه‌های ساختمانی و زیرساختی ارائه می‌دهد که مراحل مختلف چرخه عمر از جمله برنامه‌ریزی، ساخت، بهره‌برداری و نوسازی را پوشش می‌دهد. این سیستم برای توسعه‌های بزرگ مقیاس شهری از طریق BREEAM برای برنامه‌ریزی جوامع اعمال می‌شود و با ادغام عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، پایداری را تضمین می‌کند. پروژه‌های زیرساختی مانند جاده‌ها، پل‌ها و فضاهای عمومی تحت BREEAM برای زیرساخت، مهندسی عمران و حوزه عمومی ارزیابی می‌شوند و هدف آن بهبود اثرات زیست‌محیطی این زیرساخت‌ها است. ساختمان‌های مسکونی و تجاری جدید تحت BREEAM برای ساخت‌وسازهای جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند که پایداری را در طراحی، ساخت و بهره‌برداری ارز یابی می‌کند. ساختمان های تجاری موجود از طریق BREEAM برای ساختمان‌های در حال استفاده بررسی می‌شوند که بر بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌های عملیاتی تمرکز دارد. در مجموع، این سیستم با پوشش بخش‌های مختلف، از جمله ساختمان‌های مسکونی، تجاری و زیرساختی، به بهبود مستمر پایداری کمک می‌کند (Boca Santa et al., 2020; "BREEAM technical standards," ; Kacar et al., 2023).

برای مثال، ترمینال ۲ فرودگاه هیثرو لندن[۱۰] به عنوان نخستین ترمینال فرودگاهی جهان موفق به کسب درجه عالی BREEAM در سال ۲۰۱۴ شد (*Heathrow The Queens Terminal, London Heathrow*). همچنین ترمینال جدید فرودگاه اسلو گاردِرموئن[۱۱] در نروژ در سال ۲۰۱۷ با اجرای گسترده راهکارهای بهینه‌سازی انرژی (از جمله کاهش ۵۰ درصدی مصرف انرژی نسبت به ترمینال قبلی) گواهینامه BREEAM سطح عالی دریافت کرد (*The best air cargo and passenger terminals according to sustainability assessors, BREEAM*, 2018). مزایای به‌کارگیری BREEAM در پروژه‌های فرودگاهی شامل کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی، بهبود شرایط آسایش مسافران و کارکنان و کسب اعتبار زیست‌محیطی بین‌المللی برای فرودگاه است. هرچند، از محدودیت‌های BREEAM می‌توان به نیاز به نمایندگان محلی برای ارزیابی و تطبیق برخی شاخص‌ها با شرایط اقلیمی و مقررات هر کشور اشاره کرد که ممکن است استفاده از آن را در برخی مناطق پیچیده‌تر کند. به‌طور کلی، BREEAM به‌دلیل ساختار علمی و انعطاف‌پذیر خود یکی از سیستم‌های محبوب در ارزیابی پایداری ترمینال‌ها و ساختمان‌های فرودگاهی در اروپا به‌شمار می‌رود (Kaçar et al., 2021).

۲-۲- سیستم LEED

این سیستم رتبه بندی که برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ منتشر شد، توسط شورای ساختمان سبز ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۹۸ توسعه یافت و در سال ۲۰۰۰ به طور رسمی منتشر شد (Greer et al., 2019; Kacar et al., 2023; Liu,

Chen, & Chou, 2019). این سیستم بر اساس اعطای امتیاز به پروژه در موضوعات مختلف عمل می‌کند . هر ساختمان با رعایت پیش‌نیازها و کسب امتیاز در حوزه‌هایی مانند انتخاب سایت پایدار (از نظر مکان‌یابی و دسترسی حمل‌ونقل)، مصرف کارآمد آب، انرژی، مواد و منابع، کیفیت محیط داخلی (نور، هوا، آسایش و غیره) و نوآوری و اولویت‌های منطقه‌ای ارزیابی می‌شود (Alleguard, 2023; Bison, 2023). مجموع امتیازات تعیین‌کننده سطح گواهی LEED است که در چهار مرتبه گواهی تایید اولیه (Certified)، نقره‌ای (Silver)، طلایی (Gold) و پلاتینیوم (Platinum) اعطا می‌شود (حداقل امتیاز معمول برای اخذ مرتبه گواهی حدود ٤۰ از ۱۱۰ و برای پلاتینیوم ۸۰ به بالا است) (Kacar et al., 2023).

از نمونه‌های اجرایی این سیستم می‌توان به نخستین ترمینال فرودگاهی دارای گواهی LEED در جهان، ترمینال A فرودگاه بوستون لوگان[۱۲] اشاره کرد که در سال ۲۰۰٦ به بهره‌برداری رسید (FacilitiesNet, 2005). از آن پس ده‌ها فرودگاه بین‌المللی این استاندارد را به‌کار گرفته‌اند. برای مثال، فرودگاه بین‌المللی استانبول با ترمینال عظیم خود موفق به کسب گواهی LEED سطح طلایی شده است که آن را به یکی از بزرگ‌ترین ساختمان های دارای این گواهینامه تبدیل کرده است. در آمریکای لاتین، فرودگاه اکولوژیک بالترای جزایر گالاپاگوس[۱۳] گواهی LEED طلایی دریافت کرد و به‌طور کامل با انرژی خورشیدی و بادی اداره می شود (Aviation, 2022). بر اساس آمار منتشرشده توسط شورای ساختمان سبز آمریکا، تا سال ۲۰۲۵ میلادی بیش از ۵۰۰ پروژه ساختمان فرودگاهی در سطح جهان ثبت نام یا دارای گواهینامه LEED بوده‌اند که مجموع زیربنایی بیش از ۲۸ میلیون متر مربع را شامل می شود. این امر نشان‌دهنده استقبال گسترده صنعت هوانوردی از استاندارد LEED است. از مزایای به‌کارگیری LEEDدر فرودگاه‌ها می‌توان به کاهش مصرف انرژی و آب ترمینال‌ها، بهبود کیفیت محیط داخلی برای مسافران، کاستن از هزینه های بهره‌برداری و نگهداری و ارتقای وجهه پایدار فرودگاه در جایگاه‌های بین‌المللی اشاره کرد (Kaçar et al., 2021; Usgbc, 2023).

۲-۳-سیستم SBTool یا GBTool

SBTool یک چارچوب ارزیابی پایداری ساختمان است که در اواخر دهه ۱۹۹۰ میلادی در قالب پروژه ابتکاری «چالش ساختمان سبز» شکل گرفت. نسخه اولیه این ابزار توسط منابع طبیعی کانادا در سال ۱۹۹۸ با نام GBTool توسعه یافت و بعدها با گسترش دامنه و تأکید بر پایداری در مقیاسی جامع‌تر، به SBTool تغییر نام داد (Kacar et al., 2023; "SBTool and SNTool | International Initiative for a Sustainable Built Environment,"). برخلاف گواهی‌های از پیش تعیین‌شده مانند LEED یا BREEAM، SBTool خود یک استاندارد انعطاف‌پذیر و قابل سفارشی‌سازی است. در واقع SBTool به‌عنوان یک جعبه‌ابزار عمل می‌کند که به سازمان‌های محلی یا ملی اجازه می‌دهد بر اساس آن سیستم رتبه‌بندی بومی خود را طراحی کنند. به عنوان نمونه، شاخص ITACA[۱٤] در ایتالیا و برخی سیستم‌های دیگر منطقه‌ای الهام‌گرفته از SBTool هستند. این سیستم طیفی بسیار گسترده از موضوعات پایداری را پوشش می‌دهد و بسته به نیاز می‌تواند بیش از ۱۰۰ معیار یا برعکس تنها چند معیار کلیدی را شامل شود.

همچنین SBTool اجازه تعدیل وزن‌دهی معیارها را بر اساس شرایط اقلیمی و منطقه‌ای می‌دهد و حتی می‌توان معیارهای خاص محلی را به آن افزود. بدین ترتیب، SBTool از نظر انعطاف‌پذیری در بین سیستم‌های رتبه‌بندی بی‌نظیر است و می‌تواند برای انواع پروژه‌ها (ساختمان‌های مسکونی، اداری، آموزشی، بیمارستانی و ...) و در هر منطقه جغرافیایی تطبیق یابد (iiSbe, 2023).

از لحاظ ساختاری، SBTool بر ارزیابی چندمعیاره با دخیل کردن نظرات ذی‌نفعان استوار است به این معنی که در فرآیند ارزیابی، دیدگاه ها و اولویت های ذی‌نفعان مختلف پروژه (طراحان، بهره‌برداران، سرمایه‌گذاران و کاربران نهایی) در تعیین اهمیت و امتیازدهی معیارها لحاظ می‌شود. هدف SBTool نه‌تنها سنجش عملکرد پایداری ساختمان، بلکه ارتقای آگاهی دست‌اندرکاران صنعت ساختمان از معیارهای پایداری است. خروجی SBTool معمولاً به صورت امتیازدهی در چند بخش

اصـــلی (مانند مکان پروژه، انرژی، آب، مواد، کیفیت محیط داخلی، مدیریت و هزینه چرخه عمر) و نیز یک امتیاز کل ارائه می‌شود (iiSbe, 2023; Kacar et al., 2023).

از منظر کاربرد در فرودگاه‌ها، SBTool تاکنون به صورت یک گواهینامه اجرایی مشخص برای ترمینال یا تأسیسات فرودگاهی به‌کار نرفته اســت. با این وجود، به دلیل ماهیت قابل تنظیم آن، می‌توان نسخه‌ای اختصاصی از SBTool را برای ارزیابی جامع پایداری یک ترمینال فرودگاهی طراحی کرد. برای مثال، می‌توان وزن معیارهایی نظیر حمل‌ونقل عمومی دسـترسـی به فرودگاه، مدیریت سوخت و انرژی کمکی، کاهش سرو صدا و مدیریت پســماند های ویژه (مانند ضـــدیخ) را در یک SBTool سفارشی‌سازی‌شده افزایش داد تا مختص شرایط فرودگاه باشد. مزیت SBTool در این سناریو آن است که محدود به مجموعه ثـابتی از اعتبـارات نیســـت و مـدیران فرودگـاه می‌تواننـد شـــاخص های عملکردی خود را در چارچوب آن بگنجانند. با این حال، چالش اصلی در کاربرد این سیستم نبود یک مرجع صدور گواهی شناخته‌شده و نیاز به تخصص برای توسعه نسخه بومی اســت که ممکن اســت اســتفاده از آن را برای مدیران فرودگاه‌ها دشوارتر از سیستم‌های آماده مانند LEED کند.

2-4-سیستم CASBEE

CASBEE یک سیستم ارزیابی پایداری ساختمان‌ها در ژاپن است که اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی توسط کنسرسیوم ساختمان پایدار ژاپن توسـعه یافت. اولین نسـخه CASBEE در سـال ۲۰۰۲ برای ســاختمان‌های اداری عرضـــه شـــد و پس از آن خـانواده‌ای از ابزارهـای ارزیـابی CASBEE برای انواع کاربری‌ها (ساختمان‌های جدید، موجود، بازسازی شده، توسعه شـــهری و غیره) ایجاد گردید (Wikipedia, 2023). وجه تمایز اصـــلی CASBEE، رویکرد آن در محاســـبه کارایی زیست‌محیطی ساختمان (BEE[۱۵]) است. در این روش، به‌جای صـرف جمع امتیازات، یک نسـبت کارایی تعریف می‌شـود که حاصـل تقسـیم کیفیت (مزایای محیطی داخلی) بر بار محیطی (اثرات منفی بر محیط بیرونی) است که در معادله ۱ نشان داده شده است. پارامتر کیفیت (Q) نشان‌دهنده کیفیت محیط داخلی ساختمان و آسایش و خدمات فراهم‌شده برای استفاده‌کنندگان اســـت، در حالی که پارامتر بار (L) بیانگر میزان اثرات منفی ســـاختمان بر محیط پیرامونی نظیر مصـــرف انرژی، انتشـــار آلاینده‌ها و اســتفاده از منابع طبیعی اســت (" Institute for Built Environment and Carbon Neutral for SDGs,").

$$BEE = \frac{Q}{L} \qquad (۱)$$

با محاسـبه این نسـبت یک شـاخص BEE به‌دسـت می‌آید و بر اســاس مقدار آن، ســاختمان در یکی از رتبه‌های عالی (S)، خیلی خوب (A)، خوب (+B)، متوسط (-B) یا ضعیف (C) قرار می‌گیرد. برای مثال، یک ساختمان با کیفیت داخلی بسـیار بالا و اثرات خارجی بسیار کم ممکن است رتبه S کسب کند. این روش موجب می‌شـود که بهبود یک جنبه به بهای تشـدید جنبه دیگر (مثلاً بهبود آسایش داخلی همراه با افزایش مصرف انرژی) در ارزیابی نهایی منعکس شـــود؛ رویکردی که در ســـیســـتم های امتیازی خطی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد (Wikipedia, 2023).

این سیستم عمدتاً در ژاپن مورد استفاده گسترده است؛ بسیاری از شـــهرهای بزرگ ژاپن نتایج ارزیابی CASBEE را برای صـدور پروانه‌های سـاخت سـاختمان‌های بزرگ الزام کرده‌اند. گرچه CASBEE یک سـیسـتم سـاختمان‌محور اسـت و نه مختص فرودگاه، اما ساختمان‌های فرودگاهی در ژاپن می‌توانند تحـت ارزیـابی CASBEE قرار گیرنـد. برای مثـال، در پروژه توســعه ترمینال فرودگاه هانه‌دا توکیو[۱۶]، به منظور رعایت الزامات شـهر توکیو برای سـاختمان‌های بزرگ، از این سـیسـتم ارزیابی اسـتفاده شـده اسـت (هرچند جزئیات نتایج عمومی نشده‌اند). محدودیت CASBEE عدم شناخت کافی آن در خارج از ژاپن اســـت؛ به‌طوری که برای فرودگاه های بین‌المللی در کشـورهای دیگر، اسـتفاده از CASBEE مزیت بازاریابی یا قابل قیاس کمتری نسبت به سیستم‌های LEED یا BREEAM خواهد داشـــت. با این وجود، رویکرد مبتنی بر کارایی CASBEE الگویی مفید برای توسـعه ابزارهای آتی ارزیابی فرودگاه‌ها ارائه می‌دهد که می‌تواند توازن بهینه بین کیفیت خدمات فرودگاهی و کاهش اثرات زیست‌محیطی برقرار کند (Wikipedia, 2023).

5-2- سیستم GAGCC ترکیه

در کشـــور ترکیه یک رویکرد ویژه برای ارتقای عملکرد زیســـت‌محیطی فرودگاه‌ها اتخاذ شـــده که تحت عنوان GAGCC شـــناخته می‌شـــود. این برنامه توســـط ســـازمان هواپیمایی کشـــوری ترکیه (DGCA[۱۷]) در ســـال ۲۰۰۹ آغاز گردید (Turkish, 2014) و هدف آن کاهش و حتی حذف آســـیب‌های زیســـت‌محیطی عملیات فرودگاهی و فعالیت شرکت‌های مستقر در فرودگاه بر محیط و سلامت انسان است (Kacar et al., 2023). ساختار GAGCC بدین صورت اســـت که تک‌تک شـــرکت‌ها، ارگان‌ها و بهره‌برداران حاضـــر در محدوده فرودگاه باید به یکســـری الزامات زیســـت‌محیطی مشـــخص پایبند باشـــند. این الزامات عمدتاً مبتنی بر اســـتقرار سیستم مدیریت زیست‌محیطی (نظیر گواهی ISO 14001)، مدیریت پســـماند و بازیافت، کاهش مصـــرف انرژی و آب، آموزش کارکنان در زمینه محیط‌زیست و سایر اقدامات سازگار با محیط‌زیست است (Aviation, 2022). اگر یک شرکت فعال در فرودگاه همه معیارها را رعایت کند، از ســوی ســازمان هواپیمایی کشـــوری ترکیه عنوان «شـــرکت ســـبز» به آن اعطا می‌شـــود. هنگامی که تمامی شـــرکت‌ها و نهادهای یک فرودگاه (شامل شرکت‌های هواپیمایی، هندلینگ، فروشگاه‌ها، بهره‌بردار ترمینال و غیره) موفق به کسب گواهی «شرکت سبز» شوند، آن فرودگاه واجد دریافت گواهینامه «فرودگاه ســـبز» خواهد بود. بنابراین GAGCC یک سیستم همه‌یا-هیچ[۱۸] است که مستلزم مشـــارکت کل جامعه فرودگاهی در اســـتقرار رویه‌های پایدار می‌باشد (Kacar et al., 2023).

یکی از مشـــوق‌های قوی در طرح فرودگاه ســـبز ترکیه، ارائه تخفیف‌های مالی در عوارض و هزینه‌های اداری به شرکت‌ها و فرودگاه‌های گواهی‌شـــده اســـت. بر اســـاس دســـتورالعمل‌های DGCA، شرکت‌هایی که موفق به اخذ گواهی «شرکت سبز» شـــوند از ۲۰ درصـــد تخفیف در هزینه‌های تمدید مجوزها و گواهی‌های عملیاتی بهره‌مند می‌گردند و فرودگاهی که عنوان «فرودگاه ســـبز» دریافت کند نیز برای همه نهادهای مســـتقر، ۵۰ درصـــد تخفیف در هزینه صـــدور مجوزهای جدید توســـط دولت اعمال خواهد کرد. این مشوق‌ها، شرکت‌های فرودگاهی را ترغیب می‌کند تا جهت کاهش اثرات زیســـت‌محیطی خود اقدام کنند (Kacar et al., 2023). اجرای این برنامه در عمل باعث بهبود هماهنگی زیســـت‌محیطی میان ذی‌نفعان فرودگاه شده است. اولین فرودگاه دریافت‌کننده گواهی سبز در ترکیه، فرودگاه بین‌المللی صبیحه گوکچن استانبول[۱۹] بود که در سال ۲۰۱۲ موفق به این امر شـــد (Aviation, 2022). پس از آن چندین فرودگاه دیگر ترکیه نیز این گواهی را دریافت کرده‌اند؛ به طوری که تا ســـال ۲۰۲۱ مجموعاً ٦ فرودگاه ترکیه عنوان «فرودگاه سبز» را کسب کرده‌اند. این فرودگاه‌ها ملزم به حفظ شرایط پایدار برای تمدید گواهینامه خود هستند (Kaçar et al., 2021).

مزیت اصـــلی رویکرد ترکیه این اســـت که نگاه آن صـــرفاً به ساختمان یا تأسیسات نیست، بلکه کل اکوسیستم فرودگاه (تمامی شـــرکت‌ها و فعالیت‌ها) را در بر می‌گیرد و بدین‌ترتیب اثرات تجمعی فرودگاه بر محیط‌زیست کاهش می‌یابد. همچنین با الزامی کردن اســـتانداردهایی مانند ISO14001، یک چارچوب مدیریتی مســـتمر برای بهبود فراهم می‌شـــود. نقطه ضـــعف آن در مقایســـه با سیســـتم‌های بین‌المللی این اســـت که معیارهای آن عمدتاً کیفی بوده و امتیازدهی کمی ندارد؛ بنابراین اندازه‌گیری پیشرفت به صورت درصدی دشوار است و امکان مقایسه دقیق عملکرد زیست‌محیطی یک فرودگاه سبز ترکیه با فرودگاهی مثلاً دارای LEED کمتر فراهم می‌شـــود. با این وجود، موفقیت برنامه فرودگاه ســـبز در ترکیه نشـــان داده که از طریق سیاست‌های تشویقی و رویکرد جامع می‌توان مشارکت کلیه ذی‌نفعان فرودگاهی را در مســـیر پایداری جلب کرد؛ امری که ممکن اســـت برای ســـایر کشـــورها به عنوان یک الگوی مدیریتی مورد توجـه قرار گیرد (Aviation, 2022; Turkish, 2014).

6-2-سیستم ACA

برنامه ACA یک ابتکار جهانی است که در سال ۲۰۰۹ توسط شـــورای بین‌المللی فرودگاه‌ها (ACI[۲۰]) با هدف مدیریت و کاهش انتشار کربن در فرودگاه‌ها راه‌اندازی شد. این برنامه تنها ســـیســـتم ارزیابی موجود اســـت که به‌صـــورت اختصـــاصـــی بر کربن و اثرات اقلیمی عملیـات فرودگـاهی تمرکز دارد و

چارچوبی تدریجی برای حرکت فرودگاه‌ها از سنجش پایه‌ای تا خنثی سازی کامل انتشار کربن فراهم می‌کند (Postorino & Mantecchini, 2014). یکی از ویژگی های مهم این طرح این است که برای فرودگاه‌هایی با هر اندازه‌ای قابل اجرا است و به دلیل انعطاف پذیری، می‌تواند در مقیاس های مختلف فرودگاهی پیاده‌سازی شود (Kacar et al., 2023).

ACA دارای شش سطح متوالی است؛ در مرحله نخست (شناسایی و پایش منابع انتشار)، فرودگاه‌ها منابع انتشار خود را شناسایی کرده، میزان انتشار سالانه کربن را محاسبه و مستند می‌کنند. در مرحله دوم (کاهش)، اقدامات مؤثر برای کاهش انتشار مستقیم انجام می شود، از جمله بهبود بهره‌وری انرژی و استفاده از انرژی تجدیدپذیر. در مرحله سوم (بهینه‌سازی)، دامنه مدیریت کربن فراتر از عملیات مستقیم رفته و همکاری با ذی‌نفعانی مانند خطوط هوایی و شرکت‌های خدمات زمینی جهت کاهش انتشار غیرمستقیم آغاز می شود. در مرحله چهارم (خنثی سازی)، فرودگاه باقی‌مانده‌ی انتشار مستقیم را از طریق اجرای پروژه‌های جبرانی نظیر انرژی پاک یا جنگل‌کاری جبران می‌کند تا به وضعیت کربن–خنثی برسد. مرحله پنجم (تحول)، شامل تدوین راهبرد بلندمدت در راستای توافق‌نامه پاریس است و بر سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین مانند سوخت‌های پایدار یا تجهیزات الکتریکی تأکید دارد. در نهایت، مرحله ششم (گذار) بیانگر تعهد فرودگاه به دستیابی به انتشار خالص صفر از طریق ترکیب کاهش واقعی انتشار و سرمایه‌گذاری در پروژه های زیست‌محیطی بین‌المللی برای جبران آن بخش از کربن که فعلاً امکان حذفش وجود ندارد است. این ساختار مرحله‌ای، به فرودگاه‌ها امکان می‌دهد تا متناسب با توان خود مسیر پایداری اقلیمی را به‌صورت سیستماتیک طی کنند (Kacar et al., 2023; "levels of accreditation," ۷; Khismatullin, Vafin, & Abdullin, 2023).

هر فرودگاهی می‌تواند بسته به میزان آمادگی خود در یکی از این سطوح وارد برنامه ACA شود و سپس با بهبود عملکرد، به سطوح بالاتر ارتقا یابد. ویژگی مهم ACA این است که برای فرودگاه های در هر اندازه و در هر نقطه جهان قابل پیاده‌سازی است و یک استاندارد بین‌المللی هماهنگ ارائه می‌دهد (Kacar et al., 2023). تا سال ۲۰۲۴ میلادی، بیش از ۵۵۰ فرودگاه در ۸۷ کشور در این برنامه مشارکت کرده‌اند و بیش از نیمی از ترافیک هوایی جهان را پوشش داده‌اند. از این میان، ۱۵ فرودگاه به بالاترین سطح (سطح ۵) دست یافته‌اند که بیانگر دستیابی به انتشار خالص صفر در محدوده عملیاتی خود شان است. نمونه‌های برجسته شامل فرودگاه‌های زوریخ، هیثرو، اسلو و چندین فرودگاه پیشرو دیگر هستند که موفق به خنثی‌سازی کامل کربن یا تدوین برنامه گذار شده‌اند (Aci, 2025).

از مزایای ACA برای فرودگاه‌ها، فراهم شدن یک مسیر گام‌به‌گام و قابل‌اندازه‌گیری جهت کاهش انتشار کربن است که اعتبار آن توسط نهاد معتبری مانند ACI تضمین می شود. این امر باعث شفافیت در عملکرد اقلیمی فرودگاه شده و اعتماد نهاد های نظارتی و جوامع محلی را جلب می‌کند. همچنین ACA با تأکید بر جبران کربن باکیفیت به فرودگاه‌ها امکان می‌دهد اثرات اجتناب‌ناپذیر را نیز تا حدی بی‌اثر کنند؛ قابلیتی که در سایر سیستم‌های پایداری کمتر دیده می‌شود. با این حال، محدود بودن دامنه ACA به موضوع کربن (و نه سایر جنبه‌های محیط‌زیستی مانند آب، پسماند یا تنوع زیستی) باعث می شود که ACA به‌عنوان مکملی در کنار سایر گواهینامه های ساختمانی به‌کار گرفته شود نه جایگزین آن‌ها. بسیاری از فرودگاه‌ها ACA را برای مدیریت کربن و در کنار آن LEED یا BREEAM را برای ارزیابی ساختمان‌های خود استفاده می‌کنند تا پوشش جامع‌تری از پایداری داشته باشند. در مجموع، ACA نقشی کلیدی در حرکت صنعت هوانوردی به سوی کربن‌زدایی ایفا کرده و تفاوت رویکرد آن (تمرکز بر انتشارهای عملیاتی) مکمل رویکردهای ساختمانی (تمرکز بر طراحی پایدار) به‌شمار می‌رود (Kaçar et al., 2021).

7-2-مقایسه سیستم‌های رتبه‌بندی

سیستم‌هایی که معرفی شدند هر یک محدوده متفاوتی از معیارهای پایداری را پوشش می‌دهند. هر یک از این روش‌ها به تنهایی و با توجه به محیطی که در آن به کار می‌روند، نقاط قوت و ضعف خاص خود را دارند (Gómez Comendador, Arnaldo Valdés, & Lisker, 2019).

این سیستم‌ها، بر اساس برخی ویژگی‌های متمایز مانند کشور مبدا، اطلاعات بر اساس تعداد کشورهای مورد استفاده، معیارها و استانداردها و سیستم های امتیازدهی در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با ارائه همزمان ویژگی‌های کیفی و کمی هر سیستم در یک جدول واحد، می‌توان به کاربران امکان مقایسه واضح‌تر و قابل فهم‌تر را ارائه کرد.

بررسی کلی سیستم‌های رتبه‌بندی زیست‌محیطی نشان می‌دهد که هر یک از آن‌ها تمرکز ویژه‌ای بر جنبه‌های خاص پایداری دارند و انتخاب میان آن‌ها باید متناسب با اهداف هر پروژه فرودگاهی صورت گیرد. به‌عنوان نمونه، سیستم ACA با رویکرد متمرکز بر کربن، دقیق‌ترین چارچوب را برای مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌دهد و حتی جبران کامل کربن را الزامی می‌داند، در حالی که GAGCC ترکیه با نگاهی جامع، کلیه فعالیت‌های عملیاتی در فرودگاه را شامل می‌شود و به موضوعاتی چون آلودگی ناشی از مواد ضدیخ نیز توجه دارد. در مقابل، سیستم‌های ساختمانی بین‌المللی مانند LEED و BREEAM با پوشش گسترده‌تری از معیارهای زیست‌محیطی مانند انرژی، آب، مواد و اکوسیستم‌ها، کاربرد فراوانی در پروژه های فرودگاهی یافته‌اند اما معمولاً نیازمند بومی‌سازی متناسب با شرایط خاص محیط فرودگاهی نظیر آلودگی صوتی یا ترافیک زمینی هستند. همچنین، CASBEE و SBTool الگو هایی منعطف و مبتنی بر کارایی را معرفی می‌کنند که می‌توانند مبنای توسعه سیستم‌های بومی شده ویژه صنعت هوانوردی باشند. ترکیب این رویکردها نیز رایج و مؤثر است؛ چنان‌که برخی فرودگاه‌های پیشرو موفق به دریافت همزمان گواهینامه ساختمان سبز و گواهی کربن شده‌اند. توسعه آینده این سیستم‌ها، نیازمند پژوهش مستمر و انتقال تجربیات موفق جهانی است تا نقاط ضعف پوشش داده شده و چارچوب‌هایی متناسب با ویژگی‌های خاص صنعت فرودگاهی ایجاد گردد.

۳- شاخص‌های اساسی پایداری در توسعه فرودگاه‌های سبز

فرودگاه‌ها از یک سو موتورهای رشد اقتصادی و پیوندهای اجتماعی محسوب می‌شوند و منافع اقتصادی-اجتماعی قابل توجهی برای مناطق پیرامون خود ایجاد می‌کنند، اما از سوی دیگر تاثیرات نامطلوبی بر محیط‌زیست و جوامع دارند. انتشار آلاینده‌ها، سروصدا (نویز) ناشی از نشست و برخاست هواپیماها، تغییر کاربری اراضی، تولید پسماند و مصرف بالای انرژی از جمله نگرانی‌های اصلی در عملیات فرودگاهی هستند. از این رو، دستیابی به پایداری فرودگاه‌ها ضروری بوده و مستلزم رویکردی متوازن به جنبه‌های مختلف پایداری است (Shekhar, Jha, & Dalei, 2020).

برای پایش میزان پیشرفت به‌سوی اهداف پایداری، شاخص‌های پایداری تعریف می‌شوند که معیارهای کمّی یا کیفی برای سنجش عملکرد فرودگاه در هر یک از جنبه‌های کلیدی پایداری هستند (Raimundo, Baltazar, & Cruz, 2023). این شاخص‌ها به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران امکان می‌دهند میزان موفقیت اقدامات سبز را ارزیابی و مقایسه کنند و در صورت لزوم راهبردها را اصلاح نمایند.

جدول۱. مقایسه سیستم‌های رتبه‌بندی فرودگاه سبز در جهان (Kacar et al., 2023)

سیستم ارزیابی	CASBEE	SBTOOl	LEED	BREEAM	GAGCC	ACA
کشور	ژاپن	کانادا	آمریکا	انگلستان	ترکیه	بلژیک (بروکسل)
سازمان انتشاردهنده	IBEC	IIBSE	USGBC	BRE	GDCA	ACI EUROPE
کارایی	۱ کشور	۹ کشور	۱٦۷ کشور	۸۹ کشور	۱ کشور	٤٦ کشور
اولین نسخه	۲۰۰٤	۱۹۹۸	۱۹۹۳	۱۹۹۰	۲۰۱۳	۲۰۰۹
آخرین نسخه	۲۰۱٦	۲۰۲۰	۲۰۱٦	۲۰۱۸	-	۲۰۱۹
دسته‌های اصلی ارزیابی						
موقعیت مکانی و حمل‌ونقل	–	–	✓	✓	–	–
سایت‌های پایدار	✓	✓	✓	✓	–	✓ اندازه‌گیری ردپای کربن
انرژی و اتمسفر	✓	✓	✓	✓ انتشار CO_2	✓	✓ جبران انتشار کربن باقی‌مانده از طریق پروژه‌های معتبر کاهش گازهای گلخانه‌ای
مصالح و منابع	✓	✓	✓	✓	✓ پسماند و سوخت	–
کیفیت محیط داخلی	✓	✓	✓	–	–	–
سلامتی و رفاه	–	–	–	✓	–	–
نوآوری در طراحی	–	–	✓	✓	–	–
بهره‌وری مصرف آب	–	✓	✓	✓ رواناب سطحی	✓ فاضلاب	–
سایر دسته‌های ارزیابی	–	کیفیت خدمات	–	✓ پسماند و آلودگی	✓ آلودگی و یخ‌زدایی	✓ مدیریت کربن
نویز (صدا)	–	✓	–	–	✓	–
آموزش و آگاهی‌بخشی	–	✓	✓	–	✓	✓
اولویت منطقه‌ای	–	✓	✓	–	–	–
اطمینان از رعایت مقررات و به‌روزرسانی آن‌ها	–	–	✓	✓	✓	✓
رویکرد رتبه‌بندی	–	–	اعتبارات تجمعی	دسته‌های از پیش وزن‌دهی شده	ارزیابی مستندات	–
سطوح گواهینامه	C (ضعیف) B^- B^+ A S (عالی)	برنزی: ٤۰٪ الی ٦۰٪ نقره‌ای: ٦۰٪ الی ۸۰٪ طلایی: بالای ۸۰ ٪	تایید اولیه (٤۰ الی ٤۹ امتیاز) نقره‌ای (۵۰ الی ۵۹ امتیاز) طلایی (٦۰ الی ۷۹ امتیاز) پلاتینیوم (۸۰ الی ۱۱۰ امتیاز)	قابل قبول: ★ تایید شده: ★★ خوب: ★★★ خیلی خوب: ★★★★ عالی: ★★★★★ ممتاز: ★★★★★★	گردآوری مدارک لازم برای صدور گواهینامه	مرحله ۱: شناسایی و ثبت وضعیت موجود مرحله ۲: کاهش منابع یا آلاینده‌ها مرحله ۳: بهینه‌سازی فرآیندها مرحله ٤: رسیدن به سطح بی‌طرفی مرحله ۵: تحول ساختاری برای پایداری مرحله ٦: گذار به مدل جدید پایدار
تعداد گواهینامه های صادر شده	+ ۵٤۰	–	۹٦،۲۷۵ ساختمان	۲،۳۱۳،٤۷۵ ساختمان	۱۱۳ شرکت های هواپیمایی	بیش از ۵۰۰ فرودگاه

مطالعات گوناگون نشـــان داده‌اند که شـــاخص‌های پایداری فرودگاه را می‌توان در چند دسته‌ی کلی گروه‌بندی کرد. به طور سنتی سه رکن اصلی پایداری شامل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصـــادی در نظر گرفته می‌شـــوند. با این حال، پژوهش‌های جدیدتر بر افزودن جنبه‌های دیگر مانند جنبه‌های فنی/عملیاتی تأکید دارند. برای مثال در یک پژوهش شـــاخص‌های پایداری پروژه‌های ســـاخت فرودگاه را در چهار دســـته‌ی اقتصـــادی، زیســـت‌محیطی، اجتماعی و فنی طبقه‌بندی شـــد (Sharifi Arkami & Sharbatdar, 2019). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، ده شاخص کلیدی پایداری برای فرودگاه سبز شناسایی شده‌است که ابعاد گوناگون را پوشش می‌دهند. این شاخص‌ها عبارتند از: کاهش ســـروصـــدا، کاهش انتشـــار آلاینده‌ها و بهبود کیفیت هوا، مدیریت انرژی، مدیریت آب، مدیریت پســـماند، حفاظت تنوع زیســـتی و کاربری زمین، هزینه و اقتصـــاد، کیفیت محیط داخلی، کنترل حمل‌ونقل زمینی و جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی (Boca Santa et al., 2020). در ادامه، مهم‌ترین جنبه‌های پایداری در توســـعه فرودگاه ســـبز در ٤ بخش کلی زیســـت‌محیطی، اقتصـــادی، اجتماعی و فنی و عملیاتی مرور می‌شـــوند. جدول ۲ شـــاخص‌های مربوط به هر یک از این دسته‌بندی‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول ۱. فهرست جهانی شاخص‌های ارزیابی پایداری پروژه‌های ساخت فرودگاه (۲۰۱۹ ,□□□□□□□□□□□□ □ □□□□□□□ □□□□□□□□)

زیست‌محیطی	اجتماعی
تاثیرات بوم‌شناختی	تاثیر بر توسعه محلی
تأثیر بر آلودگی خاک	ارائه مشاوره فرهنگی به بومیان منطقه
تأثیر بر کیفیت هوا	مقیاس خدمات‌رسانی
تأثیر بر کیفیت آب	تحلیل ذی‌نفعان پروژه
میزان مصرف آب	ارتباطات اجتماعی
آلودگی صوتی	ایمنی عمومی
مدیریت پسماند	بهداشت عمومی
تأثیر بر سلامت عمومی	کاربری زمین و تأثیر آن بر مردم
اقدامات حفاظتی زیست‌محیطی در طراحی پروژه	حفاظت از میراث فرهنگی
مدیریت انرژی	ترویج توسعه اجتماعی
استفاده از منابع طبیعی	زمان‌بندی ساعات کاری به منظور کاهش اثرات ترافیکی
کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای	ایجاد فرصت‌های شغلی
حفاظت از مناظر طبیعی و اماکن تاریخی	**فنی**
حفاظت از آثار فرهنگی و گونه‌های در معرض خطر	توسعه مهارت و مسیر شغلی
حفاظت از درختان و پوشش گیاهی	شناسایی مسیرهای پیشرفت و توسعه
امکانات موقت پایدار	انطباق دیدگاه کارفرما با طراح
کمپ‌های کارگری موقت پایدار	مشاوره در طراحی
تأسیسات قابل استفاده مجدد و بازتولیدشده با استقلال انرژی	شناسایی روش‌های بودجه‌بندی
بهبود کیفیت هوای داخلی	تحلیل رویکردهای چندگانه
سیستم‌های پایدار کنترل فرسایش و گرد و غبار	تجربه مشاور و پیمانکار در پروژه‌های مشابه
تفکیک، جمع‌آوری و بازیافت ضایعات ساختمانی	طراحی و تحلیل مشخصات فنی پروژه
اقتصادی	ارزیابی پیمانکاران مشارکت‌کننده
تحلیل عرضه و تقاضای بازار	تحلیل و بازنگری تغییرات پروژه
روش‌های سرمایه‌گذاری در پروژه	روش‌های اجرای پروژه
بودجه پروژه	مدیریت مصالح

کانال‌های تأمین مالی پروژه	برنامه‌ریزی پروژه
برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری پروژه	مدیریت تجهیزات
تحلیل چرخه عمر	مدیریت ریسک
ریسک مالی	پیش‌ساخت و پیش‌مونتاژ اجزای سازه‌ای پروژه
دوره بازگشت سرمایه	جایگزینی مصالح با مواد پایدار
نرخ بازده داخلی (IRR)	کاهش آلودگی صوتی و لرزش‌های ناشی از ساخت‌وساز
برنامه‌ریزی زمان‌بندی برای کاهش تاثیرات مصرف برق	قالب‌بندی، داربست و تجهیزات قابل استفاده مجدد
شناسایی روش‌های بالقوه مالی	تحلیل مصالح و خدمات محلی در مقایسه با غیرمحلی یا جهانی
بهره‌وری کار	انتخاب و جایگزینی تجهیزات ساخت‌وساز
شناسایی نیازهای بالقوه	بازرسی و نگهداری تجهیزات ساخت‌وساز
شناسایی توسعه/پیشرفت‌های بالقوه	مدیریت کیفیت و برنامه‌ریزی بهره‌برداری
شناسایی روش‌های بودجه‌بندی	تجربیات آموخته‌شده از پایداری

3-1-جنبه‌های زیست‌محیطی

جنبه‌های زیست‌محیطی یکی از ارکان اصلی در دستیابی به فرودگاه‌های پایدار محسوب می‌شوند و مجموعه‌ای از شاخص‌های کلیدی را شامل می‌گردند. نخست، کنترل آلودگی صوتی از طریق اجرای رویکرد «متوازن» سازمان ایکائو (شکل ۱)، شامل بهبود موتور هواپیما، کاربری مناسب اراضی، رویه‌های عملیاتی کم‌صدا و اعمال محدودیت‌های پروازی دنبال می‌شود (Boca Santa et al., ۲۰۲۰ ; *Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management (Doc* ۹۸۲۹, ۲۰۰۸; Swartz, Jan. ۲۰۲۵). همچنین، پایش نویز و کنترل ترافیک زمینی نیز از اقدامات مکمل به‌شمار می‌آید. دوم، کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود کیفیت هوا با استفاده از سوخت‌های پایدار (SAF[۲۱])، برقی‌سازی تجهیزات و مدیریت مؤثر ترافیک هوایی دنبال می‌شود (*Airport Sustainability in 2024 – Challenges, Best Practices & Trends*, 2024; *Greening air cargo: challenges, initiatives ahead!*; *ICAO Environmental Reports*). استقرار ایستگاه‌های پایش هوا در مناطق اطراف فرودگاه نیز برای سنجش و کنترل آلاینده‌ها ضروری است (Al-Hajjaji et al., 2017; Boca Santa et al., 2020).

شکل ۱. چهار عنصر اصلی رویکرد متوازن برای مدیریت آلودگی صوتی فرودگاه (Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management (Doc 9829), 2008)

سوم، مدیریت انرژی در فرودگاه‌ها از طریق استفاده از منابع تجدیدپذیر، بهینه سازی مصرف انرژی، عایق سازی ساختمان‌ها و استفاده از سیستم‌های هوشمند کنترل مصرف دنبال می شود (Boca Santa et al., 2020; *Developing an Airport Net Zero Carbon Roadmap - ACI EUROPE Guidance Document - 2nd Edition.pdf*; Reuters, 2025; *This Is Where The World's First Entirely Solar-Powered Airport Has Been Unveiled*). چهارم، مصرف بالای آب در فرودگاه‌ها با راهکارهایی چون بازچرخانی آب باران و پساب، نصب تجهیزات کاهنده مصرف و کاشت پوشش گیاهی بومی قابل بهینه‌سازی است

(Carvalho et al., 2013; Hurlimann, 2011; "Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil," ; "Rainwater use in airports,"). پنجم، مدیریت پسماند با تمرکز بر کاهش در مبدأ، تفکیک، بازیافت و مدیریت پسماندهای خطرناک، در کنار مشارکت همه ذی‌نفعان از اهداف اساسی فرودگاه‌های سبز است (Altobello; Baxter, 2022; Özbay & Gokceviz, 2022; Us Epa, 2016). در نهایت، حفاظت از تنوع زیستی و برنامه‌ریزی کاربری زمین در جهت جلوگیری از تخریب زیستگاه‌ها و کاهش خطر برخورد حیات‌وحش با هواپیما اهمیت زیادی دارد (*Airport Services Manual - Part III - Wildlife Hazard Management (Doc 9137P3)*, 2020; "Wildlife Management | Federal Aviation Administration,"). جدول ۳ به صورت خلاصه مهم‌ترین اقدامات هر یک از این شاخص‌ها را ارائه می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان چارچوبی کاربردی برای ارزیابی وضعیت زیست‌محیطی فرودگاه‌ها به‌کار رود.

جدول ۲. شاخص‌های کلیدی زیست‌محیطی پایداری در فرودگاه‌ها

شاخص زیست‌محیطی	اقدامات کلیدی	منابع
کاهش آلودگی صوتی	رویکرد متوازن شامل کاهش صدا در منبع، برنامه‌ریزی کاربری زمین، روش های پروازی کم‌صدا، محدودیت‌های عملیاتی؛ پایش نویز؛ محدودیت تردد خودروهای پرصدا.	(Boca Santa et al., ۲۰۲۰) ; *Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management (Doc* ; Swartz, ۲۰۰۸), ۹۸۲۹ (۲۰۲۵, ۸Jan.
بهبود کیفیت هوا	استفاده از سوخت های پاک، برق‌رسانی به تجهیزات زمینی، بهینه سازی ترافیک هوایی، نصب ایستگاه‌های	(*Airport Sustainability in 2024 – Challenges, Best Practices & Trends*, 2024; Al-Hajjaji et al., 2017; Boca Santa et al., 2020; *Greening air cargo: challenges, initiatives ahead!*;
	سنجش آلودگی (NO_x، SO_2، PM)	*ICAO Environmental Reports*)
مدیریت انرژی	استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی)، تجهیزات پاک، عایق‌سازی، حسگرهای هوشمند مصرف انرژی.	(Boca Santa et al., 2020; *Developing an Airport Net Zero Carbon Roadmap - ACI EUROPE Guidance Document - 2nd Edition.pdf*; Reuters, 2025; *This Is Where The World's First Entirely Solar-Powered Airport Has Been Unveiled*)
مدیریت مصرف آب	بازچرخانی آب باران و پساب، تجهیزات کاهنده مصرف، گیاهان کم‌آب‌بر و فضای سبز مقاوم، ذخیره‌سازی و استفاده مجدد.	(Carvalho et al., 2013; Hurlimann, 2011; "Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil," ; "Rainwater use in airports,")
مدیریت پسماند	طرح جامع پسماند، تفکیک در مبدا، بازیافت، کمپوست، حذف پلاستیک یک‌بارمصرف.	(Altobello; Özbay & Gokceviz, 2022; Us Epa, 2016)
حفاظت از تنوع زیستی	مدیریت حیات‌وحش، احیای زیستگاه‌ها، کمربند سبز، پایش تنوع زیستی، جلوگیری از کاربری‌های جاذب پرندگان اطراف فرودگاه (مدفن زباله، زمین کشاورزی).	(*Airport Services Manual - Part III - Wildlife Hazard Management (Doc 9137P3)*, 2020; "Wildlife Management	Federal Aviation Administration,")

3-2-جنبه‌های اقتصادی

پایداری اقتصادی یک فرودگاه سبز به معنای آن است که طرح ها و عملیات فرودگاه از نظر مالی توجیه پذیر و در بلندمدت پایدار باشند. سرمایه گذاری در فناوری ها و زیرساخت‌های سبز اگرچه ممکن است در کوتاه‌مدت هزینه‌بر باشد، اما مزایای اقتصادی قابل توجهی در پی دارد؛ از جمله کاهش هزینه‌های انرژی و سوخت، صرفه‌جویی در مصرف

منابع، کاهش عوارض و جرایم زیست‌محیطی، جذب حمایت‌های دولتی یا بین‌المللی و بهبود وجهه و اعتبار فرودگاه که می‌تواند درآمدزایی را افزایش دهد. به عنوان نمونه، نصب پنل‌های خورشیدی ممکن است سرمایه اولیه‌ای بطلبد ولی در ادامه باعث صرفه‌جویی در هزینه برق مصرفی می شود و حتی امکان فروش برق مازاد به شبکه را فراهم می‌کند. برای ارزیابی بعد اقتصادی پایداری فرودگاه، شاخص‌های مالی و اقتصادی متعددی قابل تعریف هستند. کنترل هزینه‌ها و منافع یکی از این شاخص‌هاست که شامل ارزیابی هزینه‌های اجرای برنامه‌های سبز در برابر منافع حاصل از آن‌ها (مثلاً صرفه‌جویی مالی یا درآمدهای جدید) می‌شود. تحلیل عرضه و تقاضای بازار نیز شاخصی کلیدی است؛ به این معنا که فرودگاه باید متناسب با تقاضای مسافر و بار در منطقه توسعه یابد. پژوهشی نشان داده است که «تحلیل عرضه و تقاضای بازار» مهم‌ترین شاخص اقتصادی در موفقیت طرح‌های توسعه فرودگاه است، چرا که عدم توجه به کشش بازار می‌تواند به مازاد ظرفیت غیراقتصادی یا شکست پروژه بینجامد. به عبارت دیگر، توسعه فرودگاه زمانی پایدار خواهد بود که متناسب با نیازهای واقعی حمل‌ونقل هوایی باشد و از سرمایه‌گذاری مازاد یا کمبود ظرفیت جلوگیری شود (Boca Santa et al., 2020; Sharifi Arkami & Sharbatdar, 2019).

مدل‌های تأمین مالی و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های فرودگاه سبز از ارکان اساسی پایداری اقتصادی به شمار می‌روند. بهره‌گیری از مشارکت بخش خصوصی، روش‌های نوین تأمین مالی مانند انتشار اوراق قرضه سبز، تسهیلات کم‌بهره برای پروژه‌های کم‌کربن و الگوهای سرمایه‌گذاری مشترک دولت و بخش خصوصی، زمینه ساز اجرای پایدار و مؤثر پروژه‌های زیربنایی فرودگاهی است. در این راستا، تنوع‌بخشی به منابع مالی و توجه به بازگشت سرمایه در بلندمدت، از عوامل کلیدی موفقیت هستند. شاخص هزینه چرخه عمر پروژه[۲۲] نیز تأکید دارد که ارزیابی اقتصادی نباید محدود به هزینه‌های ساخت باشد، بلکه باید کلیه هزینه‌ها و منافع در طول عمر بهره‌برداری، از احداث تا بازسازی و پایان عمر، لحاظ شوند. این رویکرد امکان مقایسه دقیق‌تر گزینه‌های سبز با راهکارهای سنتی را فراهم می‌سازد، چراکه اغلب، راه‌حل‌های پایدار در بلندمدت مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند. در مجموع، پایداری اقتصادی فرودگاه سبز مستلزم توازن میان حفظ سودآوری و بهره‌وری سازمان فرودگاه از یک‌سو و حمایت از رشد اقتصادی منطقه و اشتغال‌زایی از سوی دیگر است؛ توازنی که از طریق سنجش دقیق شاخص‌های مالی و عملکردی قابل دستیابی و ارزیابی خواهد بود (Boca Santa et al., 2020; Marco Troncone; Swedavia launches Green Bond Framework, 2019).

۳-۳- جنبه‌های اجتماعی

بعد اجتماعی پایداری بر تأثیرات فرودگاه بر مردم و جامعه تمرکز دارد. یک فرودگاه زمانی پایدار تلقی می شود که نیازها و نگرانی‌های جامعه محلی، مسافران، کارکنان و تمامی ذی‌نفعان خود را مد نظر قرار دهد. یکی از مهم‌ترین شاخص های اجتماعی، مشارکت ذی‌نفعان و جامعه محلی در تصمیم‌گیری‌هاست. برنامه‌ریزی فرودگاه، از مرحله مکان‌یابی تا طراحی مسیرهای دسترسی، باید با اخذ نظرات و جلب رضایت ساکنین پیرامون و سایر ذی‌نفعان (مانند شهرداری‌ها و سازمان‌های مردمی) همراه باشد. تحلیل و مدیریت ذی‌نفعان پروژه از حیاتی‌ترین شاخص های اجتماعی در پروژه های فرودگاهی است (Sharifi Arkami & Sharbatdar, 2019). به بیان دیگر، شناسایی تمامی افراد و گروه‌های متاثر از پروژه و درگیر کردن آن‌ها در فرآیند تصمیم سازی، می‌تواند به کاهش تعارضات اجتماعی، افزایش مقبولیت عمومی طرح و موفقیت اجرای آن بینجامد. به عنوان نمونه، تشکیل کمیته‌های مشورتی با حضور نمایندگان محلی جهت تبادل نظر درباره برنامه‌های توسعه فرودگاه، یا برگزاری جلسات اطلاع‌رسانی عمومی درباره اقدامات کنترلی سروصدا و آلایندگی، می‌تواند اعتماد و همراهی جامعه را جلب کند.

سلامت و رفاه کارکنان و مسافران نیز از محورهای مهم اجتماعی است. فرودگاه پایدار باید محیط کاری ایمن، سالم و منصفانه‌ای برای کارکنان فراهم سازد و همچنین آسایش و رضایت مسافران را ارتقا دهد. کیفیت محیط داخلی ترمینال‌ها که قبلاً در بخش شاخص‌های زیست‌محیطی به آن اشاره شد

(نور، تهویه، دما و آلودگی صوتی داخلی)، تأثیر مستقیمی بر راحتی مسافران و بهره‌وری کارکنان دارد. برای مثال، حفظ کیفیت هوای داخل سالن‌ها از طریق تهویه مناسب و فیلتر کردن آلاینده‌ها، تامین دمای آسایش در فصول مختلف سال، استفاده از روشنایی طبیعی روز و کاهش نویز های مزاحم داخل ساختمان از اقداماتی است که رضایت کاربران فرودگاه را بهبود می‌بخشد. اعمال سیاست‌های منعطف می‌تواند به بهبود شرایط آسایش و در عین حال صرفه‌جویی انرژی کمک کند (Boca Santa et al., 2020; Kotopouleas & Nikolopoulou, 2016).

از دیگر شاخص‌های اجتماعی می‌توان به دسترسی و حمل‌ونقل عمومی اشاره کرد. فرودگاه باید به نحوی توسعه یابد که دسترسی عموم مردم (مسافران و کارکنان) به آن به آسانی و با گزینه‌های حمل‌ونقل پایدار ممکن باشد. وجود خطوط مترو یا قطار حومه‌ای به فرودگاه، مسیر های اتوبوس‌رانی منظم، مسیرهای دوچرخه‌سواری و پیاده‌راه‌های ایمن تا ترمینال، همگی نشان‌دهنده توجه به عدالت دسترسی و حمل‌ونقل پاک است. تسهیل دسترسی عمومی نه تنها رضایت جامعه را افزایش می‌دهد، بلکه موجب کاهش وابستگی به خودروهای شخصی و در نتیجه کاهش ترافیک و آلودگی می‌شود که خود یک سود زیست‌محیطی است. شاخص دیگر، مسئولیت اجتماعی فرودگاه نسبت به جامعه است که اقداماتی فراتر از الزامات قانونی را در بر می‌گیرد. مشارکت فرودگاه در فعالیت‌های خیریه و فرهنگی محلی، کمک به توسعه زیرساخت‌های عمومی منطقه (مثلاً ساخت مدرسه یا مرکز بهداشت مناطق همجوار)، ارائه برنامه‌های آموزشی به جامعه محلی و حمایت از کسب‌وکارهای کوچک محلی (مانند اختصاص غرفه به صنایع دستی منطقه در ترمینال) نمونه‌هایی از ایفای نقش مسئولیت اجتماعی هستند. مجموعه این اقدامات در کنار رعایت حقوق جامعه در تصمیم‌گیری‌ها و کاهش آلایندگی‌ها باعث می‌شود فرودگاه به عنوان یک همسایه خوب و یک عضو مسئول در جامعه تلقی گردد. بدین ترتیب بعد اجتماعی پایداری تضمین می‌کند که توسعه فرودگاه سبز همراه با ارتقای کیفیت زندگی مردم و منافع اجتماعی باشد، نه اینکه صرفاً اهداف اقتصادی و فنی بدون توجه به انسان‌ها دنبال شود (Boca Santa et al., 2020).

3-4-جنبه‌های فنی و عملیاتی

بعد فنی و عملیاتی در پایداری فرودگاه‌ها به اطمینان از آن می‌پردازد که طراحی زیرساخت ها، بهره‌برداری روزمره و ساختارهای مدیریتی در راستای اصول پایداری هماهنگ باشند. در حوزه طراحی و ساخت، به‌کارگیری مصالح سازگار با محیط‌زیست، بهینه‌سازی مصرف منابع، و استفاده از فناوری‌های نو مانند آسفالت‌های جاذب صوت و بتن‌های دوستدار محیط‌زیست از الزامات پایداری فنی محسوب می‌شوند (Gendall, April 28, 2017; Sharifi Arkami & Sharbatdar, 2019).

بهره‌برداری هوشمند با استفاده از سامانه‌های کنترل و مانیتورینگ، اینترنت اشیا، و هوش مصنوعی می‌تواند به بهینه سازی مصرف سوخت، انرژی و منابع انسانی کمک کند (Kabashkin & Shoshin, 2024; Kabashkin & Susanin, 2024). همچنین، طراحی و ارتقاء زیر ساخت‌های حمل‌ونقل عمومی، جایگاه های شارژ خودرو های برقی، و مدیریت ناوگان زمینی در کاهش آلایندگی و افزایش کارایی عملیاتی نقش مهمی ایفا می‌کند (Boca Santa et al., 2020; Kovynyov & Mikut, 2018).

ایمنی زیرساختی و تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی و اقلیمی، یکی دیگر از الزامات کلیدی است. طراحی سازه‌های مقاوم، پشتیبانی سیستم‌های حیاتی و اجرای برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه در حفظ عملکرد پایدار فرودگاه‌ها مؤثر است (Chourasia, Jha, & Dalei, 2021; Davies, Dec 2, 2019). از سوی دیگر، وجود ساختار نهادی کارآمد، نظام‌نامه‌های سبز، آموزش کارکنان و هماهنگی با نهادهای بین‌المللی نظیر ICAO و ACI تضمین می‌کند که فناوری‌های نوین و سیاست‌های زیست‌محیطی به‌درستی پیاده‌سازی شوند. جدول ٤ به‌طور خلاصه مهم‌ترین مؤلفه‌های فنی و عملیاتی را در چارچوب پایداری فرودگاه‌های سبز دسته‌بندی می‌کند (Chourasia, Jha, & Dalei, 2021).

جدول ۳. شاخص‌های کلیدی فنی و عملیاتی پایداری در فرودگاه‌ها

شاخص فنی و عملیاتی	اقدامات کلیدی	منابع
طراحی و ساخت پایدار	مصالح قابل بازیافت، کاهش مصرف انرژی، بتن و آسفالت سبز، استفاده از منابع محلی، بهینه‌سازی فرآیند ساخت	(Gendall, April 28, 2017; Sharifi & Arkami, 2019)
بهره‌برداری هوشمند	اینترنت اشیا، داده‌کاوی، مدیریت انرژی و ترافیک، مانیتورینگ عملکرد و مصرف منابع	(Kabashkin & Shoshin, 2024; Kabashkin & Susanin, 2024)
حمل‌ونقل زمینی پاک	حمل‌ونقل عمومی، ایستگاه شارژ، پارکینگ خودروهای برقی، خودروهای زمینی الکتریکی، بهینه‌سازی تردد	(Boca Santa et al., 2020; Kovynyov & Mikut, 2018)
ایمنی و تاب‌آوری زیرساخت	طراحی مقاوم در برابر زلزله، تغییر اقلیم و بحران‌ها؛ سیستم‌های اضطراری، ژنراتور پشتیبان، مصالح سازگار با اقلیم	(Chourasia, Jha, & Dalei, 2021)
نگهداری پیشگیرانه	برنامه‌های منظم تعمیر و بازبینی تجهیزات ناوبری، ناوگان و زیرساخت‌ها برای پیشگیری از خرابی‌های ناگهانی	(Davies, Dec 2, 2019)
ساختار نهادی و مدیریتی	سیاست‌های رسمی سبز، آموزش کارکنان، گزارش‌دهی عملکرد، هماهنگی با □□□□ و □□□، سازوکارهای اجرایی برای پیاده‌سازی فناوری‌ها	(Chourasia, Jha, & Dalei, 2021)

در مجموع، شاخص‌های پایداری در توسعه فرودگاه سبز یک دید کامل و جامع از عملکرد فرودگاه ارائه می‌کنند و تمامی ابعاد اثرگذار (از محیط‌زیست و اقتصاد گرفته تا جامعه، فناوری و حاکمیت) را پوشش می‌دهند. تنها از طریق اندازه‌گیری منظم این شاخص‌ها و پایش پیشرفت بر اساس آن‌هاست که می‌توان نقاط قوت و ضعف پایداری یک فرودگاه را شناسایی کرده، اقدامات اصلاحی مناسب را اتخاذ نمود و در نهایت به سمت تحقق فرودگاه سبز به معنای واقعی گام برداشت. همان‌طور که صنعت هوانوردی به‌طور کلی به دنبال تدوین چارچوب‌های جدید و سیاست‌های پایدار برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود عملکرد اجتماعی خود است، فرودگاه‌ها نیز به عنوان اجزای کلیدی این صنعت باید نوآوری‌های پایدار را در اولویت قرار داده و مطابق با شاخص‌های پایداری عمل‌کنند تا بتوانند نقش خود را به عنوان زیرساختی حیاتی در خدمت نسل‌های حاضر و آینده به شکلی مسئولانه ایفا نمایند.

توسعه سیستم رتبه‌بندی فرودگاه سبز ایران

با افزایش فشارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بر صنعت هوانوردی، لزوم استقرار یک نظام ارزیابی منسجم برای پایداری فرودگاه‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. در حالی که ابزارهایی نظیر LEED و BREEAM در سطح بین‌المللی توسعه یافته‌اند، این سیستم‌ها غالباً با زمینه‌های اقلیمی، زیرساختی، اقتصادی و اجتماعی ایران تطابق کامل ندارند. از این‌رو، در این پژوهش، یک سیستم رتبه‌بندی جامع تحت عنوان IGARS[۳۳] طراحی و معرفی شده است که با الهام از ساختار سیستم‌های بین‌المللی و با لحاظ ویژگی‌های خاص کشور، یک مدل بومی، انعطاف‌پذیر و چندبُعدی را برای ارزیابی پایداری فرودگاه‌ها ارائه می‌دهد. سیستم IGARS بر پایه چهار رکن اصلی پایداری شامل جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی و عملیاتی طراحی شده است. علاوه بر آن، یک بخش پنجم با عنوان نوآوری و منطقه‌محوری نیز برای تشویق راه‌حل‌های خلاقانه و سازگار با شرایط محلی در نظر گرفته شده است. مجموع امتیازات این سیستم، ۹۵ امتیاز اصلی و ۵ امتیاز تشویقی است که به شرح جدول ۵ توزیع شده‌اند.

جدول ٤. ساختار امتیازدهی شاخصه‌های ارزیابی در سیستم رتبه‌بندی IGARS

شاخص ارزیابی	حداکثر امتیاز قابل کسب
زیست‌محیطی	۵۰
اقتصادی	۱۵
اجتماعی	۱۵
فنی و عملیاتی	۱۵
نوآوری و منطقه‌محوری (امتیاز تشویقی)	۵
مجموع	**۱۰۰**

در طراحی سیستم رتبه‌بندی IGARS توزیع امتیازات بر مبنای اصول علمی پایداری، اولویت‌های محیطی کشور و تجربه‌های موفق بین‌المللی (مانند LEED و BREEAM) تنظیم شده است. در این چارچوب، بعد زیست‌محیطی با ۵۰ امتیاز بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است، چراکه عمده مشکلات پایداری در فرودگاه‌های ایران به این حوزه مربوط می‌شود. همچنین، این بعد، محور اصلی در اغلب سیستم‌های بین‌المللی رتبه‌بندی فرودگاه‌های سبز از جمله LEED و ACA نیز هست و در عین حال نقشی کلیدی در تحقق تعهدات اقلیمی و محیط‌زیستی ایران در سطوح ملی و بین‌المللی ایفا می‌کند. ابعاد اقتصادی، اجتماعی و فنی و عملیاتی هرکدام با ۱۵ امتیاز در نظر گرفته شده‌اند تا توازن لازم میان پایداری اقتصادی، عدالت اجتماعی و کارآمدی مهندسی در پروژه‌های فرودگاهی حفظ شود. افزون بر این، ۵ امتیاز تشویقی برای «نوآوری و منطقه‌محوری» لحاظ شده که فرودگاه‌ها را به ارائه راه‌حل‌های خلاقانه، سازگار با اقلیم و فرهنگ بومی تشویق می‌کند. این امتیازات تشویقی به سیستم انعطاف‌پذیری می‌دهد و امکان رقابت‌پذیری در سطح ملی و بین‌المللی را افزایش می‌دهد. بر پایه مجموع امتیازات کسب‌شده (از ۹۵ امتیاز اصلی) و با احتساب حداکثر ۵ امتیاز تشویقی، پنج سطح گواهی‌نامه طبق جدول ٦ تعریف می‌شود.

جدول ۵. سطوح مختلف صدور گواهینامه‌های سیستم رتبه‌بندی IGARS

نام گواهی‌نامه (سطح)	دامنه امتیاز (از ۹۵)	شرح عملکرد و جایگاه
برنزی	۵۰ تا ٦٤	حداقل استانداردهای زیست‌محیطی؛ مناسب برای فرودگاه‌های تازه‌کار یا در حال گذار به توسعه پایدار.
سیمین	٦۵ تا ۷٤	رعایت مؤلفه‌های اصلی پایداری در سطوح پایه تا متوسط؛ قابلیت ارتقاء به سطوح بالاتر در آینده.
زرین	۷۵ تا ۸٤	عملکرد متعادل و پیشرفته در ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی.
گوهرین	۸۵ تا ۹٤	فرودگاه سبز کامل در چارچوب شاخص‌های اصلی؛ الگوی ملی برای توسعه پایدار هوانوردی.
گوهرین ملی (ویژه)	۹۵+ (با ۵ امتیاز تشویقی)	سطح افتخار ملی؛ ترکیب نوآوری، بومی‌سازی، عملکرد ممتاز در تمام ابعاد و الگوبرداری جهانی.

در سامانه رتبه‌بندی IGARS، در بخش زیست‌محیطی، یک فرودگاه می‌تواند حداکثر ۵۰ امتیاز کسب کند. این امتیازات به‌صورت هدفمند میان دو زیرمجموعه اصلی توزیع شده‌اند: ۳۵ امتیاز برای تسهیلات فرودگاهی و ۱۵ امتیاز برای عملیات ناوبری هوایی. این تقسیم‌بندی با هدف پوشش جامع اثرات زیست‌محیطی هر دو بُعد زمین و هوا انجام گرفته است. ساختار امتیازدهی این بخش با الهام از منطق سیستمی و رویکرد طبقه‌بندی‌شده در رتبه‌بندی بین‌المللی LEED (Gómez Comendador, Arnaldo Valdés, & Lisker, 2019) طراحی شده است، اما به‌گونه‌ای بومی‌سازی شده که با نیازهای خاص زیرساخت‌های هوایی ایران هم‌خوانی داشته باشد. جدول ۷ در ادامه، ساختار دقیق امتیازدهی به هر یک از اجزای این بخش را به تفکیک نمایش می‌دهد.

در سامانه رتبه‌بندی بومی IGARS، ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فنی و عملیاتی به‌عنوان سه ستون مکمل در کنار بعد زیست‌محیطی تعریف شده‌اند و با رویکردی جامع به بررسی پایداری فرودگاه‌های کشور می‌پردازند. علاوه بر این، بعد نوآوری و منطقه‌محوری به‌عنوان یک محور تشویقی در نظر گرفته شده است تا فرودگاه‌هایی که در انطباق با ویژگی‌های اقلیمی، فرهنگی و فناورانه منطقه‌ای عملکردی فراتر از حد انتظار دارند، شناسایی و تشویق شوند. در جدول شاخص‌های بعد اقتصادی (جدول ۸)، ۷ شاخص کلیدی مانند تحلیل هزینه‌فایده، تأمین مالی سبز، تحلیل هزینه‌های چرخه عمر[۲٤] و بهره‌وری عملیاتی تعریف شده‌اند که جمعاً حداکثر ۱۵ امتیاز را پوشش می‌دهند. این شاخص‌ها توان مالی، پایداری سرمایه‌گذاری و بازگشت اقتصادی پروژه‌های سبز را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. در جدول ۹، شاخص‌های بعد اجتماعی، شاخص‌هایی از جمله اشتغال‌زایی محلی، مشارکت جامعه، رضایت کاربران و حفظ میراث فرهنگی در نظر گرفته شده‌اند که امکان ارزیابی کیفیت ارتباط فرودگاه با اجتماع پیرامون را فراهم می‌سازند.

جدول ۷. ساختار امتیازدهی شاخصه‌های اصلی در رده «زیست محیطی»

(Gómez Comendador, Arnaldo Valdés, & Lisker, 2019)

آلودگی صوتی (N) – (۱۰ امتیاز)					
تسهیلات فرودگاهی			**ناوبری هوایی**		
N1	ارزیابی آلودگی صوتی و مدیریت آن	اجباری	N5	ثبات در مسیر	۲ امتیاز
N2	برنامه جداسازی صوتی	اجباری + ۱ امتیاز	N6	مسیرهای ترجیحی سروصدا	۲ امتیاز
N3	کارایی صوتی	۱ امتیاز	N7	اولویت‌بندی استفاده از باند	۱ امتیاز
N4	محدودیت‌های آزمایش موتور	۰/۵ امتیاز	N8	محدودیت‌های پرواز در شب	۲/۵ امتیاز
آلاینده‌ها و انتشارات (PE) – (۱۵ امتیاز)					
تسهیلات فرودگاهی			ناوبری هوایی		
PE1	کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای فرودگاه	اجباری + ۱ امتیاز	PE6	تقرب فرود پیوسته	۲ امتیاز
PE2	ماشین‌های زیست‌محیطی	۲ امتیاز	PE7	خروجی‌های پروازی پیوسته	۱/۵ امتیاز
PE3	استفاده از سوخت‌های زیستی	۱ امتیاز	PE8	هدایت بهینه به سمت فرودگاه مقصد	۱/۵ امتیاز
PE4	کیفیت هوای داخل ساختمان	اجباری + ۲/۵ امتیاز	PE9	محدودیت در استفاده از موتور در زمین	۲ امتیاز
PE5	محدودیت استفاده از APUها و GPUها	۱ امتیاز	PE10	بهینه‌سازی عملیات مسیر	۰/۵ امتیاز
انرژی (□) – (۵ امتیاز)			**مواد، ضایعات و پسماند (MW) – (۵ امتیاز)**		
تسهیلات فرودگاهی			تسهیلات فرودگاهی		
E1	مدیریت مصرف انرژی	اجباری + ۲ امتیاز	MW1	بازیافت پسماند خطرناک	اجباری
E2	استفاده از انرژی تجدیدپذیر	۱ امتیاز	MW2	بازیافت زباله	اجباری + ۰/۵ امتیاز
E3	کنترل تجهیزات تهویه‌مطبوع	اجباری + ۱ امتیاز	MW3	تأثیر چرخه حیات زیرساخت	اجباری + ۲ امتیاز
E4	نورپردازی داخلی	اجباری + ۱ امتیاز	MW4	انتخاب مصالح ساختمانی	۲/۵ امتیاز
کاربری زمین (□) – (۵ امتیاز)			**تنوع زیستی و چشم‌انداز (BL) – (۵ امتیاز)**		
تسهیلات فرودگاهی			تسهیلات فرودگاهی		
L1	انتخاب سایت	اجباری + ۱/۵ امتیاز	BL1	حفاظت از منظره	اجباری + ۲ امتیاز
L2	ارتباط با حمل‌ونقل عمومی	اجباری + ۱ امتیاز	BL2	کاهش آلودگی نوری	اجباری + ۰/۵ امتیاز
L3	ارتباط با حمل‌ونقل خصوصی	۱ امتیاز	BL3	کاهش اثر جزیره گرمایی	۰/۵ امتیاز
L4	حفاظت خاک	اجباری + ۱/۵ امتیاز	BL4	حفاظت از تنوع زیستی	اجباری + ۲ امتیاز
منابع آب (W) – (۵ امتیاز)					
تسهیلات فرودگاهی					
W1	کنترل مصرف آب	اجباری	W4	کاهش مصرف آب در فرایند بارگیری و تخلیه بار	۱ امتیاز
W2	کاهش مصرف آب در فضای باز	اجباری + ۱/۵ امتیاز	W5	مدیریت رواناب	۱ امتیاز
W3	کاهش مصرف آب در داخل ساختمان	اجباری + ۱ امتیاز	W6	تصفیه فاضلاب	اجباری + ۰/۵ امتیاز

جدول ٦. ساختار امتیازدهی شاخصه‌های اصلی رده «اقتصادی»

کد شاخص	عنوان شاخص	شرح عملکرد	امتیاز
EC1	تحلیل هزینه–فایده پروژه‌های سبز	بررسی و ارائه مستند هزینه‌های سرمایه‌گذاری و منافع بلندمدت زیرساخت‌های سبز	۳
EC2	مدل‌های تأمین مالی پایدار	استفاده از روش‌هایی نظیر وام‌های زیست‌محیطی یا سرمایه‌گذاری ترکیبی دولت و بخش خصوصی	۳
EC3	تحلیل هزینه چرخه عمر	ارائه تحلیل هزینه‌های کلی پروژه در فازهای ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و پایان عمر	۲
EC4	بهره‌وری اقتصادی عملیاتی	افزایش بازدهی انرژی، کاهش هزینه‌های نگهداری، صرفه‌جویی در منابع انسانی یا مالی	۲
EC5	ارزیابی ریسک مالی	بررسی سناریوهای پر خطر اقتصادی مانند نوسانات ارزی، تورم یا شکست در بازیابی سرمایه	۲
EC6	برنامه‌ریزی بازگشت سرمایه	تعیین زمان‌بندی دقیق برای بازگشت هزینه‌ها در چارچوب اصول مالی سبز	۱
EC7	روش‌های نوین جذب سرمایه	جذب منابع مالی جدید از طریق مدل‌هایی مانند بازار کربن، کمک‌هزینه‌های بین‌المللی یا سرمایه‌گذاران مسئولیت‌پذیر	۲

جدول ۷. ساختار امتیازدهی شاخصه‌های اصلی رده «اجتماعی»

کد شاخص	عنوان شاخص	شرح عملکرد	امتیاز
SO1	اشتغال‌زایی محلی	تأمین فرصت‌های شغلی برای ساکنان مناطق پیرامون فرودگاه	۳
SO2	رضایت مسافران و کارکنان	استفاده از سنجش‌نامه‌های تخصصی برای ارزیابی کیفیت خدمات و رضایت از محیط	۲
SO3	دسترسی و عدالت فضایی	تسهیل دسترسی اقشار مختلف به حمل‌ونقل هوایی با رعایت عدالت اجتماعی و مکانی	۲
SO4	ایمنی و امنیت اجتماعی	تضمین ایمنی محیط ترمینال، سیستم‌های هشدار و آمادگی در شرایط اضطراری	۲
SO5	مشارکت جامعه محلی	برگزاری جلسات مشورتی با ساکنان محلی و دریافت بازخورد پیش از توسعه	۲
SO6	حفظ میراث فرهنگی و بومی	ممانعت از تخریب بناها یا چشم‌اندازهای تاریخی و استفاده از نشانه‌های فرهنگی در طراحی	۲
SO7	برنامه‌های آگاهی‌بخشی	آموزش کارکنان و مسافران درباره اصول پایداری و مسئولیت‌پذیری محیط‌زیستی	۲

جدول ۱۰. ساختار امتیازدهی شاخصه‌های اصلی رده «فنی و عملیاتی»

کد شاخص	عنوان شاخص	شرح عملکرد	امتیاز
TE1	هوشمندسازی سیستم‌ها	استفاده از فناوری‌های کنترل انرژی، تهویه، امنیت و حمل‌ونقل داخلی مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT)	۳
TE2	سیستم‌های مدیریت انرژی (EMS)	استقرار پایشگرهای آنلاین مصرف انرژی با قابلیت تحلیل پیشرفته	۲
TE3	بهینه‌سازی گردش وسایل نقلیه	ایجاد مسیرهای داخلی و خارجی برای کاهش ترافیک، آلودگی و تأخیر	۲
TE4	زیرساخت شارژ خودروهای برقی	نصب جایگاه‌های شارژ برای خودروهای الکتریکی کارکنان، مسافران و ناوگان حمل‌ونقل عمومی	۲
TE5	سیستم‌های پیشرفته تهویه و گرمایش	بهره‌گیری از تجهیزات نوین با راندمان بالا و سیستم‌های HVAC پاک	۲
TE6	کنترل هوشمند نورپردازی	نصب حسگرهای نوری برای بهینه‌سازی مصرف برق در ترمینال‌ها و محیط‌های عملیاتی	۲
TE7	نگهداری پایدار تجهیزات	استفاده از رویکردهای نگهداری پیش‌گیرانه و کم‌مصرف برای افزایش عمر مفید سیستم‌ها	۲

جدول ۸. ساختار امتیازدهی شاخصه‌های اصلی رده «نوآوری و منطقه‌محوری»

کد شاخص	عنوان شاخص	شرح عملکرد	امتیاز
IN1	نوآوری در طراحی و ساخت	استفاده از فناوری‌های نو مانند پنل‌های خورشیدی منعطف یا مصالح هوشمند	۱
IN2	تحقیق و توسعه سبز	همکاری با دانشگاه‌ها یا مراکز تحقیقاتی در زمینه فرودگاه‌های پایدار	۱
IN3	یکپارچگی سامانه‌ها	ایجاد سیستم مدیریتی یکپارچه برای پسماند، انرژی و آب	۱
IN4	تطبیق با اقلیم و فرهنگ منطقه	استفاده از طراحی بومی با مصالح سازگار و پاسخ به شرایط اقلیمی خاص منطقه	۱
IN5	نوآوری خلاقانه بومی (اختیاری)	نوآوری ویژه توسط فرودگاه که در هیچ‌یک از شاخص‌های فوق نبوده ولی تأثیر قابل اثبات دارد	۱

در جدول شاخص های بعد فنی و عملیاتی (جدول ۱۰)، ۷ شاخص با محوریت هوشمندسازی، بهره‌وری انرژی، زیرساخت‌های برقی و نگهداری پایدار طراحی شده‌اند که عملکرد فنی فرودگاه را از منظر پایداری مورد سنجش قرار می‌دهند. نهایتاً، در جدول شاخص های بعد نوآوری و منطقه‌محوری (جدول ۱۱)، ٤ شاخص تشویقی شامل نوآوری در طراحی، تحقیق و توسعه، یکپارچگی سیستم‌ها و تطبیق اقلیمی ارائه شده‌اند که در صورت تحقق، می‌توانند تا سقف ۵ امتیاز اضافی را برای پروژه به ارمغان بیاورند. این ساختار جدولی دقیق و شفاف، امکان ارزیابی عادلانه و کاربردی عملکرد فرودگاه‌ها را فراهم کرده و بنیانی مناسب برای اجرای استانداردهای سبز در سطح ملی ایجاد می‌کند.

سیستم IGARS با تعریف ساختاری متوازن، امتیازدهی هدفمند و سطوح گواهی‌نامه قابل تفکیک، بستری علمی برای ارزیابی پایداری فرودگاه‌ها فراهم می سازد. این سیستم امکان انطباق با شرایط متنوع اقلیمی، زیرساختی و مدیریتی کشور را فراهم کرده و زمینه‌ساز به‌کارگیری آن در ارزیابی عملکرد،

طرح‌های توسعه و پروژه‌های جدید است. با این حال، تحقق عملی اهداف این سیستم منوط به تدوین دقیق سازوکارهای اجرایی، شفاف‌سازی نقش نهادهای مسئول و تعریف فرآیند ارزیابی و به‌روزرسانی مداوم است که به تفصیل در قسمت بعد مورد بررسی قرار می‌گیرند.

٤-ضرورت، ساختار و روش پیاده‌سازی سیستم IGARS در ایران

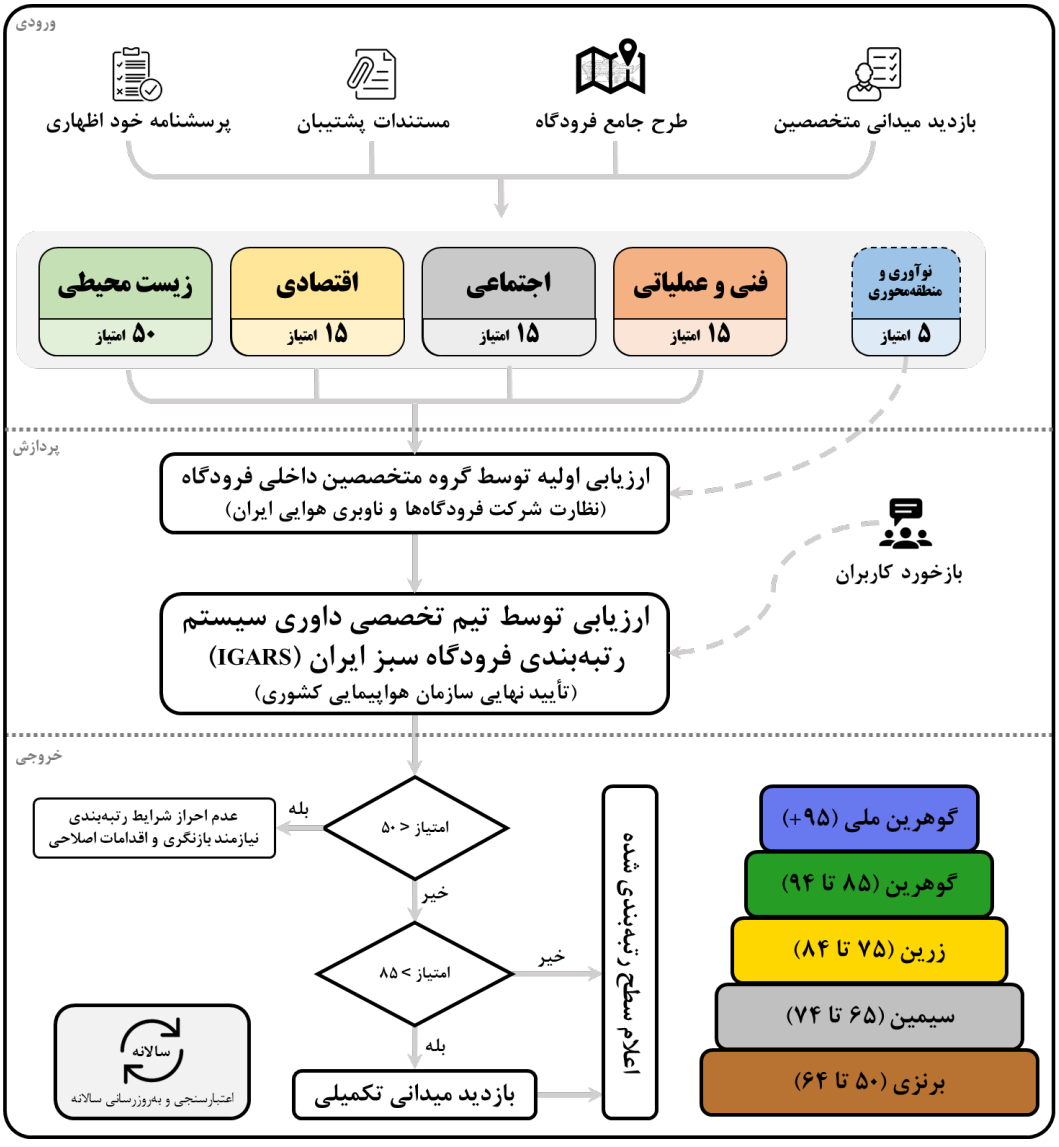
با رشد فزاینده صنعت هوانوردی، گسترش سفرهای هوایی، و تمرکز جمعیتی در پیرامون فرودگاه‌های اصلی کشور، مسئله پایداری زیرساخت‌های هوایی به یکی از چالش‌های جدی در برنامه‌ریزی شهری و حمل‌ونقل بدل شده است. در این میان، نبود یک چارچوب بومی و چندبعدی برای ارزیابی پایداری فرودگاه‌ها، فقدانی اساسی در سیاست‌گذاری‌های حوزه هوانوردی کشور به شمار می‌رود. سیستم IGARS با هدف پاسخ‌گویی به این نیاز طراحی شده است؛ سامانه‌ای که تلاش دارد با بومی‌سازی تجارب موفق بین‌المللی مانند LEED و ACA و با لحاظ تنوع اقلیمی، نهادی و اقتصادی کشور، الگویی قابل اجرا، علمی و منعطف برای رتبه‌بندی فرودگاه‌های سبز در ایران ارائه دهد.

ضرورت اجرای این سیستم نه‌تنها از الزامات زیست‌محیطی ناشی می‌شود، بلکه با منافع اقتصادی، اجتماعی و نهادی نیز گره خورده است. فرودگاه‌ها، به‌عنوان گره‌های کلیدی حمل‌ونقل و موتور محرک توسعه منطقه‌ای، چنانچه بر پایه اصول پایداری مدیریت شوند، می‌توانند موجب ارتقاء رفاه اجتماعی، بهینه‌سازی مصرف منابع و افزایش تاب‌آوری شهری شوند. در عین حال، از منظر تعهدات بین‌المللی ایران در حوزه تغییرات اقلیمی، اجرای چارچوب‌هایی مانند IGARS یک گام عملی و سنجش‌پذیر در مسیر کربن‌زدایی زیرساخت‌های حمل‌ونقلی خواهد بود. IGARS نه صرفاً یک ابزار ارزیابی، بلکه بستری برای طراحی سیاست، مدیریت عملکرد و توانمندسازی نهادهای اجرایی فرودگاهی در راستای پایداری است. روش‌شناسی IGARS بر پایه یک نظام امتیازدهی چندمعیاره استوار است که در آن عملکرد فرودگاه‌ها در پنج محور کلیدی شامل محیط‌زیست، اقتصاد، اجتماع، جنبه‌های فنی-عملیاتی و نوآوری منطقه‌محور سنجیده می‌شود. در این نظام، هر محور دارای شاخص‌های دقیق، مبتنی بر شواهد و قابل ارزیابی است که از طریق داده‌های عینی، طرح‌های جامع، مستندات مدیریتی و بازخورد ذی‌نفعان جمع‌آوری می‌شوند. این ساختار به‌گونه‌ای طراحی شده است که هم در پروژه‌های احداث فرودگاه جدید، هم در طرح‌های توسعه زیرساختی و هم در ارزیابی عملکرد فعلی فرودگاه‌ها قابل استفاده باشد. در واقع، IGARS سیستمی منعطف و پویا ست که بسته به مرحله توسعه فرودگاه، قابلیت استقرار دارد و از مرحله تحلیل امکان‌سنجی تا بهره‌برداری، ابزار تصمیم‌سازی ارائه می‌دهد.

نحوه پیاده‌سازی سیستم IGARS، همان‌گونه که در شکل ۲ نمایش داده شده، بر پایه‌ی ساختار سه‌بخشی ورودی، پردازش و خروجی طراحی شده است. در مرحله ورودی، داده‌های ارزیابی از چهار منبع اصلی استخراج می‌شود: طرح جامع فرودگاه، مستندات فنی و مدیریتی، پرسشنامه‌های خوداظهاری تدوین شده توسط سازمان هواپیمایی کشوری و بازدید میدانی اولیه توسط متخصصین داخلی. این داده‌ها با ساختار شاخص‌های IGARS هم‌راستا شده‌اند و هرکدام در ارزیابی یکی از پنج رکن اصلی سیستم به‌کار گرفته می شوند. در این مرحله، اطلاعات گردآوری‌شده از طریق فیلتر شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، فنی‌عملیاتی و نوآوری عبور داده شده و بر اساس معیارهای تعریف‌شده، امتیازدهی اولیه صورت می‌پذیرد.

در مرحله پردازش، ابتدا ارزیابی داخلی توسط تیم تخصصی فرودگاه انجام می‌شود. این تیم، با استناد به ورودی‌های ثبت‌شده، وظیفه امتیازدهی اولیه و تدوین گزارش خودارزیابی را بر عهده دارد و فرآیند کار تحت نظارت شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران انجام می‌شود. در ادامه، مستندات جهت بررسی نهایی به تیم داوری تخصصی IGARS ارائه می شود که با نظارت مستقیم سازمان هواپیمایی کشوری فعالیت می‌کند. این تیم، مسئول اعتبار سنجی فنی، اصلاح احتمالی امتیازات و تأیید نهایی رتبه‌بندی است. وجود این مرحله تضمین می‌کند که ارزیابی‌ها از اعتبار تخصصی و انسجام ملی برخوردار باشند و

صرفاً به قضاوت محلی محدود نشوند. نکته متمایز در این مرحله، دخالت مستقیم بازخورد کاربران فرودگاه در تصمیم‌گیری نهایی است. یک سامانه ملی رتبه‌بندی به‌طور خاص طراحی شده که در آن کارکنان، مسافران و ذی‌نفعان محلی می‌توانند به‌صورت مستمر، نظرات و تجربیات خود را در خصوص خدمات و عملکرد هر فرودگاه ثبت کنند. داده‌های حاصل از این سامانه به صورت تجمیعی در اختیار تیم داوری قرار گرفته و در امتیازدهی به شاخص‌های مرتبط با کیفیت خدمات، عدالت فضایی و رضایت کاربران لحاظ می شود. این مشارکت ساختاریافته، جنبه‌های کیفی را در فرآیند ارزیابی وارد کرده و مشروعیت و دقت نتایج نهایی را تقویت می‌سازد.



شکل ۲. ساختار مفهومی فرآیند ارزیابی و رتبه‌بندی فرودگاه‌ها در سیستم IGARS مبتنی بر مدل ورودی-پردازش-خروجی

برای دستیابی به سطوح بالاتر گواهی‌نامه، سخت‌گیری‌های خاصی در نظر گرفته شده است. بر اساس طراحی سیستم، تنها در صورتی که امتیاز کلی فرودگاه از ۸۵ عبور کند، مرحله «بازدید میدانی تکمیلی» فعال می‌شود. این مرحله، نه‌تنها یک ابزار کنترلی برای جلوگیری از ادعای نادرست امتیازهاست، بلکه ابزاری برای ارزیابی دقیق عملکرد واقعی پروژه در زمینه های کلیدی نظیر بهره‌برداری، نگهداری و تجربه کاربر محسوب می شود. به بیان دیگر، سقف ۸۵ به‌عنوان یک آستانه عملکردی عمل می‌کند که فقط پروژه هایی با عملکرد ممتاز، امکان ورود به مراحل نهایی ارزیابی و اخذ گواهی نامه های «گوهرین» و «گوهرین ملی» را خواهند داشت. این فلسفه، از یک‌سو انگیزه‌ای برای ارتقاء واقعی عملکرد ایجاد می‌کند و

از سوی دیگر، اعتماد عمومی و نهادهای بین‌المللی را نسبت به اعتبار گواهی‌نامه‌ها تقویت می‌سازد. همچنین، چنانچه امتیاز نهایی فرودگاه کمتر از ۵۰ با شد، فرآیند رتبه‌بندی متوقف شده و انجام بازنگری‌های ساختاری و اصلاح عملکرد پیش‌نیاز ادامه مسیر خواهد بود.

در پایان، یکی از ویژگی‌های ساختاری سیستم IGARS، مکانیزم اعتبارسنجی و به‌روزرسانی سالانه است. بر اساس این سازوکار، رتبه‌بندی هر فرودگاه تنها به مدت یک سال معتبر است و در دوره‌های بعدی، لازم است داده‌های جدید، مستندات اصلاح‌شده و گزارش‌های پایش به سامانه ارائه شود. این رویکرد، پویایی سیستم را حفظ کرده و از تبدیل آن به یک ارزیابی ایستا و یک‌بار مصرف جلوگیری می‌کند. علاوه بر آن، با فراهم‌کردن امکان ثبت تغییرات، اقدامات اصلاحی و پروژه‌های بهبودیافته در دوره‌های بعدی، شرایط برای ارتقاء سطح گواهی‌نامه نیز مهیا می‌شود. طراحی این چرخه ارزیابی تکرار شونده، سیستم IGARS را به ابزاری زنده، پاسخگو و منطبق بر اصول بهبود مستمر تبدیل می‌کند. افزون بر این، به‌منظور ترغیب فرودگاه‌ها به ارتقاء سطح عملکرد خود و حرکت در مسیر پایداری، در ساختار اجرایی IGARS سازوکارهایی برای تشویق و حمایت پیش‌بینی شده است. این سیاست‌ها می‌توانند شامل اعطای تسهیلات دولتی، کاهش هزینه های مربوط به عوارض و مالیات های محیط‌زیستی، اولویت در تخصیص منابع ملی، یا بهره‌مندی از حمایت‌های فنی و اعتباری در پروژه‌های توسعه‌ای باشند. هدف از این مشوق‌ها، فراهم‌ساختن زمینه‌ای برای رقابت مثبت و ارتقاء تدریجی جایگاه فرودگاه‌ها در نظام رتبه‌بندی است.

در مجموع، IGARS نه‌تنها ساختاری برای سنجش و رتبه‌بندی فرودگاه ها ارائه می‌دهد، بلکه مدلی برای مدیریت تحول پایدار در زیرساخت‌های هوانوردی ایران فراهم می‌سازد. با تکیه بر نهادهای داخلی، مشارکت کاربران، سخت‌گیری در سطوح بالا و پایش مستمر، این سیستم می‌تواند به معیاری ملی برای سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و ارتقاء کیفیت زیست‌محیطی و اجتماعی فرودگاه‌ها تبدیل شود.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش فشارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی بر صنعت هوانوردی، لزوم گذار از فرودگاه‌های سنتی به فرودگاه‌های سبز در ایران به‌عنوان یک ضرورت ملی و بین‌المللی مطرح شده است. توسعه پایدار فرودگاه‌ها نه‌تنها پاسخ به چالش‌هایی مانند آلودگی، مصرف منابع و تغییرات اقلیمی ا ست، بلکه ابزاری برای ارتقاء کیفیت خدمات، ر ضایت کاربران و تحقق مسئولیت‌پذیری جهانی در قبال محیط‌زیست محسوب می‌شود.

در این پژوهش، با مروری نظام‌مند بر سیستم‌های بین‌المللی رتبه‌بندی نظیر LEED، BREEAM، ACA، CASBEE و GAGCC، نقاط قوت و محدودیت‌های هر سیستم تحلیل شد و نشان داده شد که به‌رغم ارزشمندی این چارچوب‌ها، ا ستفاده م ستقیم از آن‌ها در ایران م ستلزم بومی سازی گ سترده ا ست. در همین را ستا، نیاز به تو سعه یک سامانه ارزیابی بومی که ضمن انطباق با شرایط اقلیمی، نهادی و اجرایی کشور، قابلیت هم‌افزایی و انطباق‌پذیری با سیستم‌های بین‌المللی را نیز دارا باشد، به‌وضوح احساس می‌شود؛ اقدامی که می‌تواند جایگاه بین‌المللی فرودگاه‌های ایران را ارتقاء داده و مسیر اخذ گواهی‌نامه‌های معتبر جهانی را تسهیل کند. به‌منظور پاسخ به این نیاز، سامانه بومی رتبه‌بندی IGARS طراحی و معرفی شد. این سامانه با ساختاری متوازن، چهار بعد ا صلی پایداری شامل زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فنی-عملیاتی را پوشش داده و با تخصیص امتیازات تشویقی برای نوآوری و منطقه‌محوری، انعطاف‌پذیری مناسبی برای انطباق با ویژگی‌های بومی مناطق مختلف ک شور ایجاد کرده ا ست. در مجموع، بیش از ۶۰ شاخص ارزیابی کمی و کیفی در این چارچوب تعریف شده و سطوح مختلف گواهی‌نامه بر اساس امتیاز نهایی در نظر گرفته شده است، که امکان طبقه‌بندی عملکردی فرودگاه‌ها را در یک طیف گسترده فراهم می‌آورد.

از دیگر ویژگی‌های کلیدی IGARS، قابلیت اجرا به‌صورت فرآیند محور، ارزیابی مرحله‌ای و امکان به‌روزرسانی دوره‌ای بر ا ساس تحولات فناورانه، سیا ستی و اقلیمی ک شور ا ست. این سامانه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار راهبردی برای پایش م ستمر،

اولویت‌بندی پروژه‌ها و هدایت منابع در مسیر پایداری فرودگاهی به کار گرفته شود. در نهایت، موفقیت در پیاده‌سازی IGARS منوط به جلب همکاری میان‌سازمانی بین نهادهایی چون سازمان هواپیمایی کشوری، شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران، سازمان محیط‌زیست و شهرداری‌ها از یک سو و مشارکت فعال جوامع محلی، مشاوران و بهره‌برداران فرودگاهی از سوی دیگر است. تحقق این مشارکت چندسطحی، رمز دستیابی به فرودگاه‌هایی سبز، هوشمند و متناسب با الزامات قرن ۲۱ خواهد بود.

اگرچه چارچوب IGARS در این پژوهش به‌عنوان یک نظام بومی برای ارزیابی پایداری فرودگاه‌های ایران طراحی و تدوین شده است، اما باید توجه داشت که این مدل هنوز در مرحله مفهومی و نظری قرار دارد و اثربخشی آن در شرایط واقعی مورد آزمون میدانی قرار نگرفته است. از این‌رو، برای اعتبارسنجی نهایی و امکان تعمیم این چارچوب در سطح ملی، انجام مطالعات مکمل در محورهای زیر ضروری است؛

-اجرای آزمایشی این مدل در فرودگاه‌های اصلی کشور از جمله امام خمینی (ره)، مهرآباد، مشهد، شیراز، اصفهان و تبریز، گام ابتدایی در بررسی تطابق شاخص‌ها با شرایط عملیاتی و اجرایی واقعی است. این مطالعات میدانی می‌توانند شکاف‌های عملکردی، الزامات اصلاح شاخص‌ها و میزان انطباق با توانمندی نهادهای محلی را مشخص کنند.

-طراحی یک ابزار دیجیتال جهت پیاده‌سازی عملیاتی IGARS، شامل قابلیت‌هایی همچون بارگذاری داده‌ها، ارزیابی خودکار امتیازات، تولید گزارش‌های تحلیلی، مقایسه عملکرد فرودگاه‌ها و ردیابی روند بهبود، می‌تواند بهره‌گیری از این مدل را تسهیل کند. توسعه این سامانه نرم‌افزاری بستر مناسبی برای تصمیم‌سازی مبتنی بر داده فراهم خواهد آورد.

-مقایسه جامع میان مدل بومی IGARS و سیستم‌های بین‌المللی مانند LEED، ACA و BREEAM از نظر هزینه، نیازمندی‌های اجرایی، زمان‌بری و سازگاری نهادی، به درک بهتر مزایا و محدودیت‌های هر رویکرد کمک می‌کند و می‌تواند تصمیم‌گیران را در انتخاب مسیر مناسب برای رتبه‌بندی پایداری فرودگاه‌ها یاری رساند.

-مطالعات آینده می‌توانند به تحلیل قبل و بعد از استقرار IGARS در یک بازه زمانی مشخص بپردازند تا میزان اثربخشی این مدل در بهبود جنبه‌هایی نظیر مصرف انرژی، مشارکت اجتماعی، ارتقاء کیفیت محیطی و بهبود بهره‌وری اقتصادی سنجیده شود.

-اجرای اثربخش IGARS نیازمند همکاری گسترده میان نهادهای مختلف شامل سازمان هواپیمایی کشوری، شرکت فرودگاه‌ها، سازمان محیط‌زیست، شهرداری‌ها، مشاوران تخصصی و جامعه محلی است. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به بررسی سازوکارهای افزایش این هم‌افزایی میان‌سازمانی و جلب مشارکت مردمی بپردازند.

-به‌منظور همگامی با تحولات صنعت هوانوردی، ضرورت دارد شاخص‌های جدیدی در زمینه‌هایی مانند سوخت‌های پایدار هوانوردی (SAF)، اینترنت اشیا (IoT)، دیجیتال‌سازی عملیات فرودگاهی، سامانه‌های هوشمند مدیریت انرژی و تاب‌آوری اقلیمی به چارچوب IGARS اضافه شوند.

-در مجموع، توسعه موفقیت‌آمیز IGARS از سطح یک مدل مفهومی به یک ابزار کاربردی ملی، مستلزم اجرای گام‌به‌گام، ارزیابی تجربی، توسعه زیرساخت‌های نرم‌افزاری و تقویت مشارکت نهادی است. این روند می‌تواند زمینه‌ساز تحول واقعی در مسیر پایداری زیرساخت‌های فرودگاهی کشور باشد.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. International Civil Aviation Organization
2. Federal Aviation Administration
3. Leadership in Energy and Environmental Design
4. Building Research Establishment Environmental Assessment Method
5. The Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
6. Airport Carbon Accreditation Program
7. Green Building Tool
8. Sustainable Building Tool
9. Green Airport and Green CompanyCertification
10. London Heathrow Airport
11. Oslo Airport, Gardermoen
12. Logan International Airport
13. Seymour Galápagos Ecological Airport
14. Istituto per l’Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale
15. Building Environmental Efficiency

16. Haneda Airport
17. Directorate General of Civil Aviation
18. All-or-Nothing
19. Istanbul Sabiha Gökçen International Airport
20. Airports Council International
21. Sustainable Aviation Fuels
22. Life Cycle Cost Indicator
23. Iranian Green Airport Rating System
24. Life Cycle Cost Analysis

۷- مراجع

-levels of accreditation. Airport Carbon Accreditation. files/104/7-levels-of-accreditation.html (ICAO), I. C. A. O. Eco-Airport Toolkit e-collection

-Abdel-Gayed, A. H., Hassan, T. H., Abdou, A. H., Abdelmoaty, M. A., Saleh, M. I., & Salem, A. E. (2023). Travelers' subjective well-being as an environmental practice: do airport buildings' eco-design, brand engagement, and brand experience matter? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 938-939.

-Aci, E. (2025). Airports Save One Million Tonnes of CO_2 Under Airport Carbon Accreditation. ACI EUROPE.

-Administration, F. A. Airport Environmental Programs.

-Airport Services Manual - Part III - Wildlife Hazard Management (Doc 9137P3). (2020). I. C. A. Organization.

-Airport Sustainability in 2024 – Challenges, Best Practices & Trends. (2024).

-Al-Hajjaji, K., Ezzin, M., Khamdan, H., Hassani, A. E., & Zorba, N. (2017). Design, development and evaluation of a UAV to study air quality in Qatar. *arXiv preprint arXiv:*1709.05628 .

Alleguard. (2023). LEED Guide. Alleguard.

-Altobello, K. Zero Waste Case Study: San Diego International Airport (Detailed).

-Aviation, T. (*2022)*.What is a Green Airport? Aviation Turkey.

-Bamidele, R. O., Ozturen, A., Haktanir, M., & Ogunmokun, O. A. (2023). Realizing green airport performance through green management intransigence, airport reputation, biospheric value, and eco-design. *Sustainability,* 15(3), 2475-2476.

-Baxter, G. *(2022).* Towards sustainable airport waste management through the adoption of a" green" airport strategy: The case of Incheon International Airport .*Clean Technologies and Recycling,* 2(4), 247-278 .

-The best air cargo and passenger terminals according to sustainability assessors, BREEAM. (2018).

-Bison, I. P. *(2023).* What Are the *6* Main LEED Categories for Buildings? Bison IP.

-Boca Santa, S. L., Ribeiro, J. M. P., Mazon , G., Schneider, J., Barcelos, R. L., & Guerra, J. B. S. O. d. A. (2020). A Green Airport model: Proposition based on social and environmental management systems. Sustainable Cities and Society, 59, 102160.
doi.org/10.1016/j.scs.2020.102160

-BREEAM technical standards. BREEAM.

-Carvalho, I. D. C., Calijuri, M. L., Assemany, P. P., Silva, M. D. F. M. E., Moreira Neto, R. F., Santiago, A. D. F., & De Souza, M. H. B. (2013). Sustainable airport environments: A review of water conservation practices in airports. Resources, *Conservation and Recycling,* 74, 27-36.
doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.016

-certification, S. b. BREEAM Sustainability Rating Scheme for Green Building Certification.

-Chourasia ,A. S., Jha, K., & Dalei, N. N. (2021). Development and planning of sustainable airports. *Journal of Public Affairs*, 21(1), e2145 .

-Culberson, S. D. *(2011).* Environmental impact of airports. Airport Engineering: Planning, Design, and Development of 21st Century Airports, 704-738 .

-Davies, A. (Dec *2- 2019*). How Airports Are Protecting Themselves Against Rising Seas.

-Developing an Airport Net Zero Carbon Roadmap - ACI EUROPE Guidance Document - *2n*d Edition.pdf. Developing an Airport Net Zero Carbon Roadmap - *ACI EUROPE Guidance Document* - 2nd Edition.

-FacilitiesNet. *(2005)*. Logan Airport Becomes Home to World's First LEED-Certified Terminal. *FacilitiesNet.*

-Gendall, J. *(April 28- 2017).* This Is How Future Airports Must Be Designed.

-Gómez Comendador, V. F., Arnaldo Valdés, R. M., & Lisker, B. (2019). A holistic approach to the environmental certification of green airports. *Sustainability,* 11(15), 4043 .

-Greer, F., Chittick, J., Jackson, E., Mack, J., Shortlidge, M., & Grubert, E. (2019). Energy and water efficiency in LEED: How well are

-Liu, T. Y., Chen, P.-H., & Chou, N. N. S. (2019). Comparison of Assessment Systems for Green Building and Green Civil Infrastructure. Sustainability, 11(7), 2117.
doi.org/10.3390/su11072117
-Luther, L. G. (2007). Environmental impacts of airport operations, maintenance, and expansion .
-Marco Troncone, C., Aeroporti di Roma. Airports and sustainable finance: Building a green future.
-Mokhtari, H. H., & Moradi, A. (2021). Environmental Consequences of the Water Crisis in Iran .
-Nilashi, M., Zakaria, R., Ibrahim, O., Majid, M. Z. A., Mohamad Zin, R., Chugtai, M. W., Zainal Abidin, N. I., Sahamir, S. R., & Aminu Yakubu, D. (2015). A knowledge-based expert system for assessing the performance level of green buildings. Knowledge-Based Systems, 86, 194-209.
doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.009
-Özbay, İ., & Gokceviz, N. A. (2022). Towards zero-waste airports: a case study of Istanbul Airport. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(1), 134-142 .
-Pishdar, M., Ghasemzadeh, F., Maskeliūnaitė, L., & Bražiūnas, J. (2019). The influence of resilience and sustainability perception on airport brand promotion and desire to reuse of airport services: The case of Iran airports. *Transport,* 34(5), 617-627 .
-Postorino, M. N., & Mantecchini, L. (2014). A transport carbon footprint methodology to assess airport carbon emissions. Journal of Air Transport Management, 37, 76-86.
doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.03.001
-Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil.
doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.019
-Raimundo, R. J., Baltazar, M. E., & Cruz, S . P. (2023). Sustainability in the airports ecosystem: a literature review. *Sustainability,* 15(16), 12325 .
-Rainwater use in airports: A case study in Brazil.
doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.08.005
-Reuters. (2025). Rome Fiumicino opens solar farm to curb airport emissions.
-SBTool and SNTool | International Initiative for a Sustainable Built Environment.
-Sharifi Arkami, A., & Sharbatdar, M. K. (2019). Proposed List of Significant Indicators LEED points linked to climate outcomes? *Energy and Buildings,* 195, 161-167.
doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.010
-Greer, F., Rakas, J., & Horvath, A. (2020). Airports and environmental sustainability: A comprehensive review. *Environmental Research Letters,* 15(10), 103007 .
-Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management (Doc 9829). (2008*) .(978-92-9231-037-0).*
-Heathrow The Queens Terminal, London Heathrow.
-Hurlimann, A. (2011). Household use of and satisfaction with alternative water sources in Victoria Australia. Journal of Environmental Management, 92(10), *2691-2697* .
doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.007
-ICAO Environmental Reports.
-iiSbe. (2023). The SBMethod: A System for Assessing the Sustainability of Buildings. International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE).
-Institute for Built Environment and Carbon Neutral for SDGs.
-Kabashkin, I., & Shoshin, L. (2024). Artificial Intelligence of Things as New Paradigm in Aviation Health Monitoring Systems. *Future Internet,* 16(8), 276 .
-Kabashkin, I., & Susanin, V. (2024). Unified Ecosystem for Data Sharing and AI-Driven Predictive Maintenance in Aviation. *Computers,* 13(12), 318 .
-Kacar, B., Turhan, E., Dalkiran, A., & Karakoc, T. H. (2023). Green Airport building certification comparison: a practical approach for Airport Management. *International Journal of Green Energy* (20)*6-602-615* .
doi.org/10.1080/15435075.2022.2076236
-Kaçar, B., Turhan, E., Dalkiran, A., Orhan, İ., & Karakoc, T. (2021). An Assessment of The Green Airport Concept In Turkey .
-Khismatullin, R., Vafin, I., & Abdullin, R. (2023). Application of LEED Green Assessment Systems in the Infrastructure of Airport Complexes. *E3S Web of Conferences,* 416, 06002.
-Kotopouleas, A., & Nikolopoulou, M. (2016). Thermal comfort conditions in airport terminals: Indoor or transition spaces? Building and Environment, 99, 184-199.
doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.01.021
-Kovynyov, I., & Mikut, R. (2018). Digital transformation in airport Ground operations. *arXiv preprint arXiv:*1805.09142 .

-Us Epa, O. (2016). Managing and Reducing Wastes: A Guide for Commercial Buildings [Overviews and Factsheets].
-Usgbc. (2023). Applying LEED to airport projects. U.S. Green Building Council (USGBC).
-Wang, C., Zhang, T., Tian, R., Wang, R., Alam, F., Hossain, M .B., & Illés, C. B. (2024). Corporate Social Responsibility's impact on passenger loyalty and satisfaction in the Chinese airport industry: the moderating role of green HRM. *Heliyon,* (10)*1 .*
-Wikipedia, C. (2023). CASBEE. Wikipedia.
-Wildlife Management Federal Aviation Administration.
-Zarshenas, P. (2024). The transformation of the green sustainable airports construction industry through the innovative applications of green energies in comprehensive energy modality of Venus": A study on the supply & development of Renewable Energy In airports of country with dry climate by means of wind & solar energy. The Geek Chronicles, (1)*1*, *1-8 .*
for Iran Airport Construction Projects. AUT *Journal of Civil Engineering,* 3(2), 201-212 .
-Shekhar, A., Jha, K., & Dalei, N. (2020). Development and planning of sustainable airports. *Journal of Public Affairs,* 21. **doi.org/10.1002/pa.2145**
-Sumathi, N., Phanendra, M., & Teja, K. G. (2018). Green airports-Solution to stop pollution. *Int J Latest Technol Eng Manag Appl Sci,* 7, 78-85.
-Sun, L., Pan, H., & Hu, X. (2021). Short review of concepts and practices in green airports in China. *Journal of Physics: Conference Series.*
-Swartz, T. (Jan. 8, 2025). Living close to an airport can have these negative impacts on your health, says new study.
-Swedavia launches Green Bond Framework. (2019).
-This Is Where The World's First Entirely Solar-Powered Airport Has Been Unveiled.
-Turkish, D. (2014). Turkey State Action Plan Presentation. International Civil Aviation Organization (ICAO).

A Review of Green Airport Rating Systems and Indicators with the Introduction of the IGARS Framework for Sustainability Assessment of Iranian Airport*s*

Pooyan Ayar, Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran.
Hossein Tavakoli, M.Sc., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran.
Sadra Saghaei, M.Sc., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran.
Sepehr Abdipour Vosta, Ph.D., Student, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran. R&D Department, Sepehr Bastar Road and Building Company, Tehran, Iran.

E-mail: ayar@iust.ac.ir

Received: April 2025- Accepted: November 2025

ABSTRACT
In recent years, increasing attention to the environmental, economic, and social dimensions of airport operations has led to the emergence and evolution of the "Green Airport" concept at the international level. This article presents a comprehensive literature review on green airports and provides a critical analysis of major sustainability rating systems, including LEED, BREEAM, CASBEE, ACA, GAGCC, and SBTool. The evaluation methodologies, scoring frameworks, indicator scopes, advantages, limitations, and localization potentials of each system are thoroughly examined. The study further analyzes key sustainability indicators across four main pillars, environmental, economic, social, and technical/operational, and outlines the requirements for adapting these indicators to Iran's specific climatic, institutional, and infrastructural conditions. Building on this foundation, a localized framework entitled IGARS (Iranian Green Airport Rating System) has been developed. Drawing on international best practices and tailored to national contexts, IGARS offers a robust and multidimensional scoring system for assessing the sustainability performance of airports. The IGARS model includes a set of core scores derived from diverse indicators across all sustainability dimensions, as well as bonus points awarded for innovation and regional adaptability. This research not only fills a critical gap in Persian-language studies on green airports but also proposes a practical, context-sensitive and strategic model for advancing sustainable aviation infrastructure in Iran. The framework serves as a scientific foundation for evidence-based decision-making by airport authorities, policymakers, and researchers in the field.

Keywords: Green Airport, Sustainability Rating Systems, Airport Sustainability Indicators, IGARS, Environmental Assessment